

*На правах рукописи*

Сыпин Евгений Викторович

**ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР  
ОБНАРУЖЕНИЯ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ  
РАЗВИТИЯ ВЗРЫВА В ГАЗОДИСПЕРСНЫХ  
СИСТЕМАХ**

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

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Бийск-2007

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:

доктор технических наук, профессор,  
Леонов Геннадий Валентинович

Официальные оппоненты:

д.т.н., профессор, Горбова Галина Михайловна  
к.т.н., доцент Митин Александр Германович

Ведущая организация:

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет», г.Новосибирск.

Защита диссертации состоится «28» мая 2007 г. в 12 ч. в ауд. 403Гк на заседании диссертационного совета Д212.004.06, действующего при Алтайском государственном техническом университете им. И.И.Ползунова, по адресу: 656 038, Алтайский край, г.Барнаул, пр.Ленина, 46.

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

Автореферат разослан «27» апреля 2007г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, д.т.н.

Пронин С.П.

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Существует большое количество техногенных объектов, которые связаны с взрывоопасными газодисперсными системами: процессы осаждения пылей, измельчение материалов, сушка, хранение, сжигание, шлифовка поверхностей, механическая обработка горючих материалов, составление порошковых композиций и их прессование и многие другие. Аварийные ситуации или нарушения технологических режимов могут создать условия для воспламенения газодисперсной системы, процесс горения которой может носить характер взрыва, приводящего к значительным разрушениям и к человеческим жертвам.

Особенно неблагоприятна обстановка на объектах угольной промышленности. Основная причина этого заключается в наличии горючей пыли практически в любом звене технологической цепочки: от добычи угля на разрезе до сжигания его в топке тепловой электростанции. Ситуация ещё более усугубляется частым наличием метана в газовой фазе.

Вместе с тем, в последнее время отмечается тенденция роста потребления твердых видов ископаемого топлива, что существенно обостряет аварийную обстановку в угольной промышленности.

Борьба с пожарами и взрывами на техногенных объектах, связанных с использованием углей, развивается по нескольким направлениям:

- совершенствование технологических процессов добычи и переработки угля в целях сокращения времени контакта топлива с атмосферным кислородом и влагой, уменьшения пылеобразования, исключения потенциальных источников зажигания (перегрева). Несовершенство технологий является одной из главных причин возникновения пожаров и взрывов;
- использование специального взрывозащищенного оборудования и специальных строительных конструкций;
- обработка угля специальными веществами, ингибирующими процессы самовозгорания и препятствующими возникновению взрыва;
- проведение организационно-технических мероприятий на производстве, связанных, прежде всего, с укреплением производственной дисциплины;
- использование специальных автоматических систем противопожарной защиты и взрывоподавления.

К сожалению, следует отметить, что большинство мероприятий, проводимых по этим направлениям, не дают должного эффекта. Так в

технологии добычи угля практически невозможно контролировать образование просыпей, а также возникновение взрывоопасных концентраций угольной пыли. Наличие в шахтах большого количества кабельных трасс, в том числе силовых, не гарантирует от возникновения источников зажигания или перегрева. Использование же взрывозащищенного оборудования, конструкций, а также применение специальных химических средств приводит к значительному увеличению затрат и снижению рентабельности. Как показывает опыт, несмотря на значительное укрепление производственной дисциплины в угольной отрасли, большинство аварийных ситуаций и, в том числе, пожаров, происходит, в той или иной степени, по вине человека.

Единственным направлением, развитие которого может дать существенное повышение уровня пожарной безопасности угольных шахт при сравнительно небольших затратах на внедрение, является внедрение автоматических систем противопожарной защиты и взрывоподавления. Сложность построения эффективных автоматических систем взрывоподавления состоит в отсутствии до настоящего времени прибора контроля, способного обнаружить очаг возгорания на ранней стадии в условиях сильно запыленной среды. Сходные проблемы наблюдаются для всех объектов, где содержится пыль горючих и легковоспламеняющихся веществ (например, угольная, древесная, мучная, сахарная, алюминиевая и др.).

Таким образом, разработка прибора обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах (время принятия решения не более 3 мс) является актуальной и весьма перспективной задачей для повышения безопасности техногенных объектов.

**Цель работы.** Разработка и создание оптико-электронного прибора обнаружения начальной стадии развития дефлаграционного взрыва в газодисперсной системе потенциально опасного техногенного объекта на основе методов цветовой пирометрии.

**Задачи исследований:**

1. Провести анализ развития и протекания взрывов на потенциально опасных производствах (на примере угольных шахт), выявить влияние различных факторов на эти процессы.
2. Разработать экспериментальную установку для моделирования дефлаграционных взрывов газодисперсных систем.
3. Провести моделирование процесса горения газодисперсной системы в экспериментальной установке.
4. Разработать экспериментальную установку для исследования помехоустойчивости оптико-электронных приборов (ОЭП) от оптических помех.

5. Адаптировать известные методики энергетического расчёта ОЭП для ОЭП обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах.

6. Рассчитать и спроектировать ОЭП обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах.

7. Рассчитать его основные характеристики и выполнить проверку помехоустойчивости прибора.

**Объектом исследования** являются процессы возникновения и развития дефлаграционного горения в газодисперсных системах и оптико-электронный прибор спектрального отношения, предназначенный для обнаружения очага возгорания на ранней стадии.

#### **Методы исследования**

В диссертационной работе использованы методы оптической пиromетрии, методы параксиальной оптики, методы теплофизических измерений, методы цифровой обработки информации, методы физико-механических испытаний, методы математической статистики и обработки экспериментальных данных. На всех этапах проводилось сопоставление теоретических и экспериментальных результатов.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

1. Разработан метод построения быстродействующих оптических оптико-электронных приборов для обнаружения начальной стадии дефлаграционных взрывов.

2. Разработана структурная схема оптико-электронного прибора спектрального отношения для обнаружения очага возгорания на ранней стадии в газодисперсных системах.

3. Предложен и обоснован программно-аппаратный подход к построению блока обработки оптико-электронного прибора, что позволяет достичь высокой реконфигурируемости, адаптивности и большой помехоустойчивости датчика.

4. Разработана экспериментальная установка для физического моделирования дефлаграционных взрывов, которая отличается от известных аналогов тем, что позволяет проводить опыты с аэродисперсными средами, с тройными смесями воздух-горючий газ-пыль и с аэрогелями.

5. Предложена классификация возможных оптических помех на объекте контроля, разработана установка для проведения экспериментальных исследования помехоустойчивости к оптическим помехам оптико-электронного прибора спектрального отношения и с её помощью доказана высокая достоверность принятия решения о начале возгорания.

### **Положения, выдвигаемые на защиту**

1. Метод построения быстродействующих оптико-электронных приборов для обнаружения начальной стадии дефлаграционных взрывов.

2. Структурная схема оптико-электронного прибора спектрального отношения обнаружения очага возгорания на ранней стадии в газодисперсных системах.

3. Программно-аппаратный подход к построению блока обработки оптико-электронного прибора.

4. Экспериментальная установка для физического моделирования дефлаграционных взрывов.

5. Классификация возможных оптических помех на объекте контроля и разработанная установка для проведения экспериментальных исследования помехоустойчивости к оптическим помехам оптико-электронного прибора спектрального отношения.

### **Практическая значимость**

Методы построения быстродействующих оптико-электронных приборов для обнаружения начальной стадии дефлаграционных взрывов позволяют интенсифицировать процесс создания качественных систем взрывоподавления для работы в тяжелых по запыленности условиях и с крайне неблагоприятными по взрывоопасности процессами.

Разработанная экспериментальная установка для физического моделирования горения в газодисперсных системах дает возможность исследовать процессы горения разнообразных аэрозолей и проверять адекватность построенных математических моделей процессов и приборов.

Созданный оптико-электронный прибор спектрального отношения дает возможность для создания новых, более качественных систем взрывоподавления. Используемые в нем технические решения делают его уникальным с точки зрения быстродействия, слабой зависимости от оптических свойств промежуточной среды и высокой достоверности принятия решения о начале возгорания.

Разработанная методика и экспериментальная установка проверки приборов на устойчивость к оптическим помехам позволяет корректно оценить данный важный параметр создаваемого датчика.

### **Апробация работы**

Материалы диссертации докладывались на 52-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ «Научно-техническое творчество студентов» (г.Барнаул), 3-ей юбилейной научно-практической конференции БТИ «Научно-техническое творчество аспирантов и профес-

сорско-преподавательского состава» (г.Бийск), I, II, III, IV Всероссийских научно-практических конференциях «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП)» (г.Бийск), Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2002, EDM'2003, EDM'2004 (Novosibirsk), Третьей научно-практической конференции «Современные средства и системы автоматизации – гарантия высокой эффективности производства» (Томск), 4-ой Всероссийской юбилейной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (г.Бийск), 2-ой Международной научно-технической конференции «Технологическая системотехника 2003» (г.Тула).

Работа выполнена в рамках исследований НИОКР рег. №01.200103521.

Результаты исследований представлялись на Всероссийском конкурсе на лучшие научно-технические и инновационные работы творческой молодёжи России по естественным наукам, на международной выставке ЭКСПО Наука-2003 (работа была занесена в особый реестр программного комитета за перспективность), на Всероссийской выставке научно-технического творчества молодёжи НТТМ-2004 (медаль за лучшую научно-техническую разработку).

По результатам исследований заключён государственный контракт №83-ОП-04п от 10.11.2004г. на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с Федеральным агентством по энергетике по созданию системы для обнаружения и подавления начальной стадии развития дефлаграционных взрывов на базе пирометрического датчика в потенциально опасных технологических процессах и системах (угольных шахтах).

Основные результаты работы используются в учебном процессе в рамках курса «Методы и средства измерения».

**Основные результаты диссертации изложены в 18 опубликованных печатных работах, список которых приводится в конце автореферата.**

### Содержание работы

**Во введении** обоснована актуальность исследований, научная и практическая значимость полученных результатов, сформулированы цель работы, изложены основные положения выносимые на защиту, приведена краткая характеристика работы.

**В первой главе** проведён анализ развития и протекания взрывов на потенциально опасных производствах (на примере угольных шахт),

указано влияние различных факторов на эти процессы. Разработана модель для горения газодисперсных систем. Приведен обзор методов и средств контроля и борьбы со взрывами в газодисперсных системах. Обоснована необходимость проведения исследования опико-электронных приборов (ОЭП) для построения систем взрывоподавления. Сформулированы цель и задачи исследования.

**Во второй главе** рассмотрены разработанные установки для моделирования дефлаграционных взрывов газодисперсных систем и для исследования помехоустойчивости от оптических помех.

Для проведения экспериментальных исследований горения аэродисперсных систем была разработана специальная экспериментальная установка, структурная схема которой приведена на рис. 1.

На экспериментальной установке была проведена серия опытов двух видов:

- эксперимент первого вида проводился по следующему алгоритму. Исследуемое вещество распыляется в верхней части рабочей камеры и, оседая под действием силы тяжести, поджигается в нижней части рабочей камеры системой воспламенения. Фронт пламени распространяется снизу вверх и измеряется нарастание температуры в поперечном сечении рабочей камеры при прохождении фронта;

- эксперимент второго вида проводился по следующему алгоритму. Контейнер с исследуемым веществом помещается в нижней четверти камеры. Контейнер представляет собой полый цилиндр с дном из мелкой сетки. Объём между дном камеры и контейнером заполняется газом и поджигается. Расширяющиеся продукты горения газовой смеси нагревают исследуемое вещество и распыляют его по всему объёму камеры. Если температура вещества превысила его температуру воспламенения, то вещество воспламеняется, практически, одновременно во всём объёме, что может служить физической моделью дефлаграционного взрыва. При этом виде эксперимента по измеренному нарастанию температуры можно оценить период индукции.

Обработка результатов экспериментов проводилась с целью проверки воспроизводимости полученных экспериментальных данных. Для этого полученные данные с датчика температуры аппроксимировались полиномами четвертого порядка. Далее определялась воспроизводимость экспериментальных данных по критерию Кохрена. Находилась усреднённая зависимость напряжения с датчика температуры по трём опытам и по градуировочному графику датчика температуры экспериментальной установки строился график нарастания температуры. Полученные результаты для экспериментов первого и второго видов приведены на рис. 2 и 3 соответственно.

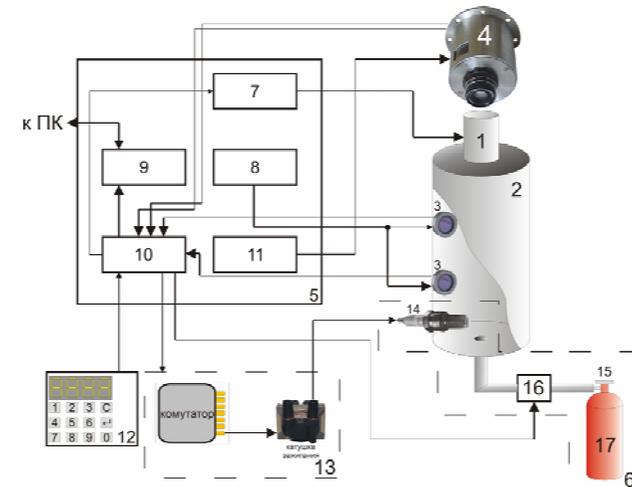


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки:  
 1 - распылитель рабочего вещества; 2 - рабочая камера; 3 - датчик скорости фронта; 4 - датчик температуры; 5 - блок управления; 6 - система воспламенения; 7 - блок управления распылителем; 8 - блок питания измерителя скорости фронта; 9 - интерфейсный блок; 10 - блок микроконтроллера; 11 - блок питания датчика температуры; 12 - панель управления; 13 - высоковольтный генератор разрядника; 14 - разрядник; 15 - вентиль регулировки расхода газа; 16 - электроклапан; 17 - бытовой газовый баллон

Проведённая обработка экспериментальных данных позволила установить воспроизводимость экспериментальных данных.

Затем было проведено сравнение результатов, полученных в результате численного решения построенной модели горения в газодисперсных средах, и результатов, полученных на установке. Результаты сравнения в безразмерном виде приведены на рис.4 и рис.5. Сравнение показало хорошую адекватность использованной модели.

Затем была выполнена классификация возможных засветок. Основные виды оптических помех приведены на рис. 6.

В качестве возможных динамических помех было предложено рассматривать включение лампы накаливания, лампы дневного света (люминесцентная), попадание солнечных лучей (или изменение интенсивности солнечного света). Ввиду того, что влияние помехи может совпадать с появлением очага возгорания, предполагалось рассмотреть

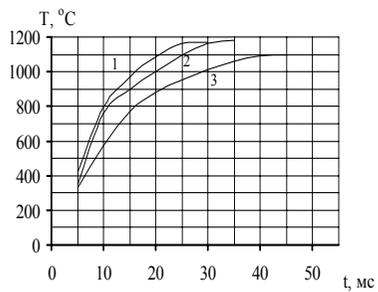


Рис. 2. Зависимость изменения температуры от времени в экспериментах первого вида для различных концентраций угольной пыли:  
 1 - концентрация  $0,3 \text{ кг/м}^3$ ;  
 2 - концентрация  $0,25 \text{ кг/м}^3$ ;  
 3- концентрация  $0,2 \text{ кг/м}^3$

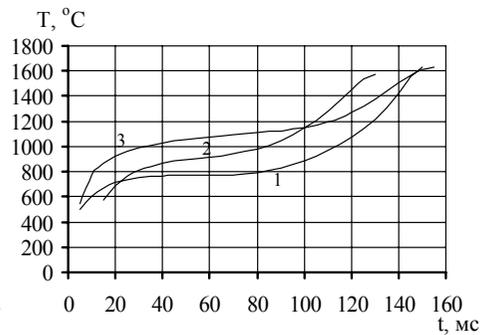


Рис.3. Зависимость изменения температуры от времени в экспериментах второго вида для различных концентраций угольной пыли:  
 1 - концентрация  $0,2 \text{ кг/м}^3$ ;  
 2 - концентрация  $0,1 \text{ кг/м}^3$ ;  
 3- концентрация  $0,05 \text{ кг/м}^3$

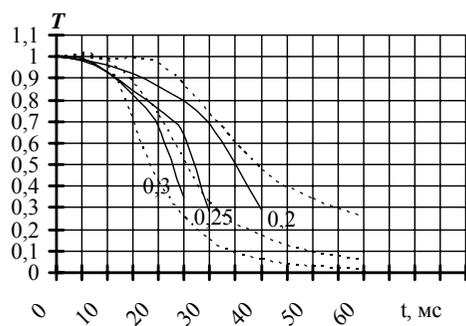


Рис. 4. Результаты численного решения (пунктирная линия) и экспериментов первого вида (сплошная линия)

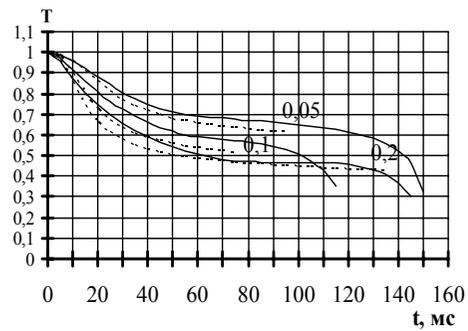


Рис.5. Результаты численного решения (пунктирная линия) и экспериментов второго вида (сплошная линия)

появление помехи как при наличии активного сигнала о возгорании на входе пирометрического датчика, так и без него.

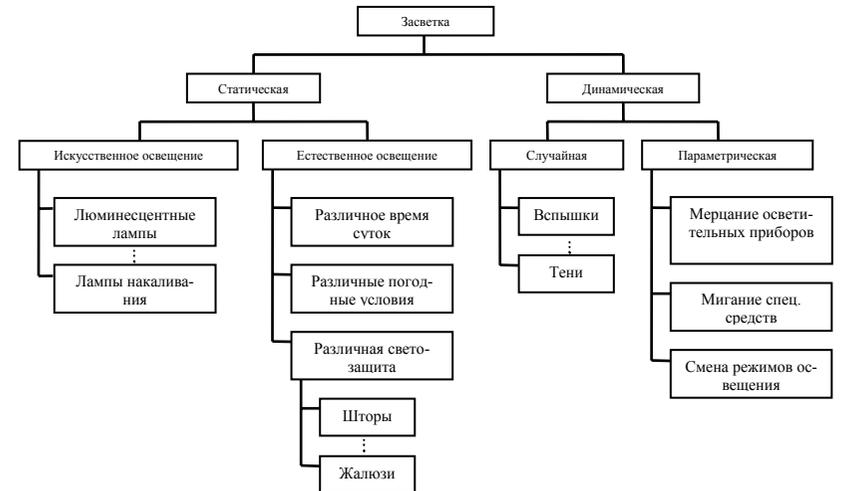


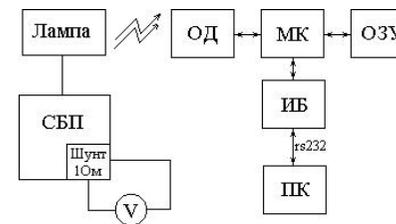
Рис. 6. Основные виды оптических помех

Для решения поставленной задачи было предложено изготовить специальную лабораторную установку, структурная схема которой приведена на рис. 7.

Алгоритм проведения эксперимента был следующий:

а) Эталонная лампа выводилась на определённое значение температуры её спирали. Это достигалось установлением определённого тока через лампу, с выдержкой лампы при этом токе не менее 30 мин (стандартные требования на лампу ТРУ 1100-2350);

Рис. 7. Структурная схема установки:



ОД – оптический датчик; МК – микроконтроллер с блоком АЦП; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; ИБ – интерфейсный блок; ПК – персональный компьютер; Лампа – эталонная лампа ТРУ 1100-2350; СБП – специальный блок питания с параметрами: регулируемое напряжение на выходе от 2 до 30 В; рабочий ток от 0.1 до 30 А; напряжение пульсаций не более 0.001 В

б) Создавались различные условия засветки, которые синхронизировались с моментом накопления информации в микроконтроллерном блоке;

в) Результаты передавались в ПК;

г) Велась обработка результатов эксперимента (в частности визуализация).

**Третья глава** посвящена рассмотрению принципов построения оптико-электронных приборов. В начале главы сделана классификация возможных оптико-электронных методов измерения температуры.

Основное уравнение ОЭП при использовании одного участка спектра  $[T_1; T_2]$  имеет вид

$$\Phi = Q\lambda^{-5} \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T}\right) = qT^n,$$

при использовании двух участков спектра -

$$y_2 = \frac{Q\lambda_1^{-5} \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda_1 T}\right)}{Q\lambda_2^{-5} \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda_2 T}\right)} = \frac{q_1}{q_2} T^{n_1 - n_2}.$$

В случае, если стоит задача контроля температуры некоторого техногенного объекта с целью обнаружения момента времени, когда температура превысит определённый, наперёд заданный, предел требования к ОЭП несколько упрощаются. Это обусловлено рядом факторов:

- допускается некоторое увеличение величины погрешности измерения. Рост погрешности приводит лишь к увеличению времени принятия решения о росте температуры. При правильном выборе порога срабатывания ОЭП контроля и при известном характере нарастания температуры объекта, а также постоянной времени ОЭП можно легко снижать точность ОЭП, не ухудшая достоверность принятия решения о превышении заданного порога;

- заданная пороговая температура объекта позволяет существенно сузить диапазон  $[T_1; T_2]$ , что позволяет упрощать схему прибора;

- заранее известные оптические характеристики и закон повышения температуры объекта контроля делает возможным упрощения ОЭП контроля по сравнению с ОЭП измерения температуры, а также облегчает выбор участков спектра для построения спектральных ОЭП.

Особенность ОЭП контроля воспламенения (ОЭПКВ) состоит в том, что их оптическую систему можно делать более узкоспециализированной с учетом особенностей объекта контроля.

При построении ЭОПКВ следует учитывать влияние промежуточной среды как при выборе типа ОЭП, так и при проектировании

прибора. Лучшими с точки зрения снижения погрешности от влияния промежуточной среды являются пирометры спектрального отношения.

Затем были рассмотрены варианты построения оптических систем и выполнения энергетического расчёта оптической системы ОЭП.

После анализа возможных вариантов энергетического расчёта выработан максимально адаптированный к целям и задачам работы расчёт.

Для определения зависимости энергии излучения источника возгорания от температуры было решено воспользоваться законом Планка в виде (формула Вина):

$$M_{e\lambda} = \varepsilon_{\lambda} C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} \text{ [Вт/м}^3\text{]},$$

где  $\varepsilon_{\lambda}$  - степень черноты тела,  $\lambda$ - длина волны, м,  $T$  – абсолютная температура, К,  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные:  $C_1 = 3,741832 \cdot 10^{-16}$  Вт·м<sup>2</sup>,  $C_2 = 1,438786 \cdot 10^{-2}$  м·К. Расчеты было предложено вести для абсолютно черного тела и не учитывать коэффициент пропускания промежуточной среды.

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

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

где  $l$  - расстояние до излучателя, м,  $\Delta A$  – площадь излучателя, м<sup>2</sup>,  $D$  - диаметр входного зрачка системы, м<sup>2</sup>,  $\tau_{c\lambda}$  - коэффициент пропускания среды распространения излучения,  $\tau_{o\lambda}$  - коэффициент пропускания оптической системы.

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

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

где  $q$  – диаметр фотоприемника (или сторона, в случае квадратной формы), м;  $f'$  - фокусное расстояние, м.

Также в третьей главе рассмотрены расчёты вероятности правильного обнаружения сигнала на фоне помех, отношения сигнал/шум

на выходе оптической системы, пороговой чувствительности и дальности действия ОЭП.

Энергетический расчёт позволяет определить такие параметры ОЭП как габаритные параметры оптической системы, граничные требования к возможному источнику излучения, параметры электронного тракта, обнаружительную способность приёмника излучения.

**В четвертой главе** приводится расчёт и описание разработанного ОЭП обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах.

В результате анализа возможных схем построения цветопирометрического датчика была разработана структурная схема датчика, приведённая на рис.8.

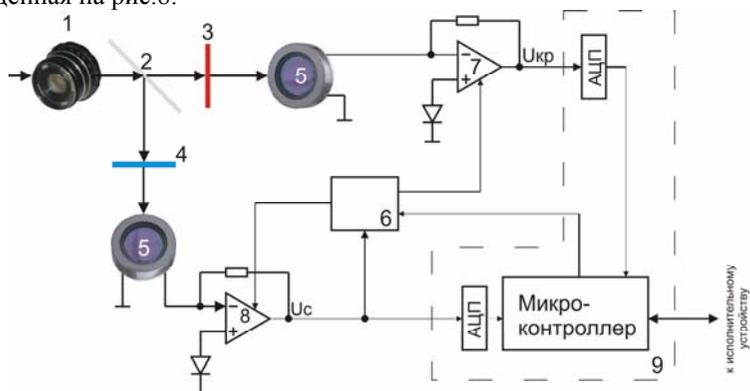


Рис. 8. Структурная схема ОЭП спектрального отношения:

1- объектив, 2 - делитель светового потока, 3, 4 – светофильтры, 5 – фотодетекторы, 6 - блока термостабилизации темновых токов, 7,8 – усилители-преобразователи, 9 – микроконтроллерный блок

По предложенной структурной схеме был произведён предварительный габаритный расчёт оптической части прибора. Для этого было обосновано месторасположения фотоприемников и получены выражения для оптимального сочетания таких параметров как диаметр входного зрачка, диаметр фотоприёмника, расположение полупрозрачного зеркала, фокусное расстояние (рис.9), расположение и вид охраняемой зоны относительно входного зрачка прибора (рис.10).

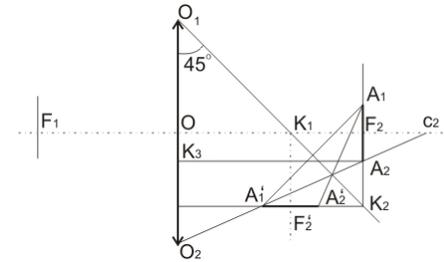


Рис.9. Иллюстрация к расчёту минимального фокусного расстояния:  $OF_2$  – фокусное расстояние,  $A_1F_2$  – радиус фотоприёмника,  $O_1O$  – радиус линзы,  $O_1K_2$  – полупрозрачное зеркало.

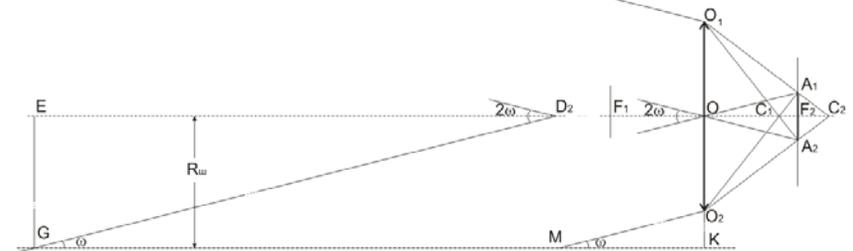


Рис.10. - К выводу параметров охраняемой зоны:  $MK$  – охраняемая зона,  $GD_2E$  – половина (вторая половина из-за симметрии не показана) зоны полного излучения.

По полученным выражениям был сделан предварительный расчёт и получены значения основных размеров оптической части прибора (в таблице 1).

Таблица 1. Результаты предварительного расчёта

Диаметр линзы, мм	Диаметр фотоприёмника, мм	$MK$ , м	$GK$ , м	$OF_{2min}$ , мм	$\omega_{max}$ , град	$OD_2$ , м
100	10	13,64	15,08	71,79	3,984	0,718

На основании предварительного расчёта были выбраны конкретные фотодиоды, линза, светофильтры, полупрозрачное зеркало и выполнен окончательный расчёт оптической части ОЭП (в таблице 2).

Таблица 2. Результаты окончательного расчёта оптического датчика.

Диаметр линзы, мм	Диаметр фотоприёмника, мм·мм	$MK$ , м	$GK$ , м	$OF_2$ , мм	$\omega$ , град	$OD_2$ , м
63,5	10x10	14,76	15,72	76,2	3,75	0,484

Затем были найдены коэффициенты пропускания оптической части прибора для каждого канала. Для канала распространения излучения с отражением (поток отражается от полупрозрачного зеркала) с установленным светофильтром BPF 500\12 коэффициент пропускания равен

$$\tau_{o.omp.500} = (1 - \rho_{л.500})^2 \cdot \tau_{л.500}^{l_n} \cdot \rho_{з.500} \cdot \tau_{сф.500},$$

где  $\rho_{з.500}$  - коэффициент отражения полупрозрачного зеркала на длине волны 500 нм;  $l_n$  – толщина линзы по центру, см;  $\tau_{сф.500}$  - коэффициент пропускания светофильтра BPF 500\12.

Для канала прямого распространения излучения (поток проходит полупрозрачное зеркало прямо) с установленным светофильтром BPF 650\12 коэффициент пропускания равен

$$\tau_{o.np.650} = (1 - \rho_{л.650})^2 \cdot \tau_{л.650}^{l_n} \cdot \tau_{з.650} \cdot \tau_{сф.650},$$

где  $\rho_{л.650}$ ,  $\rho_{л.500}$  - коэффициент отражения от поверхности раздела сред воздух-линза и линза-воздух на длине волны 650 нм и 500 нм;  $\tau_{л.650}$ ,  $\tau_{л.500}$  - коэффициент пропускания линзы на длине волны 650 нм и 500 нм;  $\tau_{з.650}$  - коэффициент пропускания полупрозрачного зеркала на длине волны 650 нм;  $\tau_{сф.650}$  - коэффициент пропускания светофильтра BPF 650\12.

По полученным исходным данным был проведён окончательный энергетический расчёт прибора, на основании которого была разработана схема нахождения отношения и принятия решений (микроконтроллерный блок).

Затем были рассчитаны такие характеристики прибора как нижний предел обнаружения, дальность, быстродействие, точность и выполнена проверка помехоустойчивости прибора с помощью разработанной лабораторной установки.

На рис. 11 и 12 показаны примеры формы сигналов «синего» и «красного» каналов при регистрации потока излучения от эталонной лампы и помехи в виде лампы накаливания и регистрации очага возгорания при фоновой засветке.

Результаты позволили подтвердить правильность выбора схемы построения блока обработки на микропроцессоре с разделением каналов аналого-цифрового преобразования для каждого измерительного тракта.

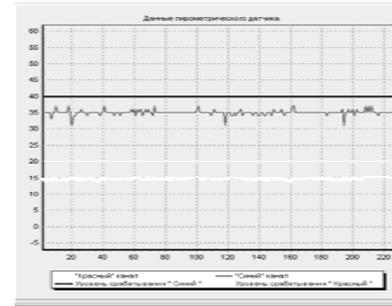


Рис. 11

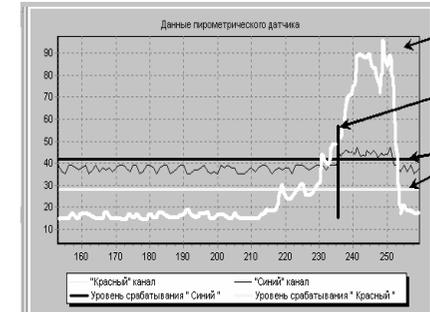


Рис. 12

Данная схема легко позволяет исключить целый ряд помех, связанных с попаданием в рабочую зону пирометрического датчика различных мешающих светящихся объектов.

**В заключении диссертации** сформулированы основные выводы и результаты проведенных исследований:

1. В процессе выполнения диссертационного исследования был разработан и создан оптико-электронный прибор обнаружения начальной стадии развития дефлаграционного взрыва в газодисперсной системе потенциально опасного техногенного объекта на основе методов цветовой пирометрии.

2. Был проведен анализ развития и протекания взрывов на потенциально опасных производствах (на примере угольных шахт), выявлено влияние различных факторов на эти процессы и сделан обоснованный выбор оптического метода построения ОЭП обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах.

3. Разработан метод построения и изготовлена экспериментальная установка для исследования процесса горения газодисперсных систем. Данная установка была необходима для физического моделирования реальных процессов горения в газодисперсных системах, что позволило получить исходную информацию для проектирования ОЭП и в последствии провести практическую проверку основных свойств ОЭП.

4. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для исследования помехоустойчивости оптико-электронных приборов (ОЭП) от оптических помех, которая позволяет проверять реакцию ОЭП на оптические помехи как при наличии полезного сигнала, так и при его отсутствии в диапазоне от  $600^{\circ}\text{C}$  до  $1000^{\circ}\text{C}$ .

5. Была предложена и разработана методика инженерного энергетического расчёта ОЭП обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах (по методике разработана вычислительная программа).

6. Был рассчитан, спроектирован и изготовлен ОЭП обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах со следующими основными характеристиками:

- порог срабатывания, К	873,
- время срабатывания, не более, мс	1,
- максимальное расстояние до объекта контроля, не менее, м	35,
- показатель визирования	1:15,
- предел допускаемой основной погрешности, К	50,
- степень защиты	IP65.

7. Была выполнена проверка помехоустойчивости прибора на изготовленной экспериментальной установке для исследования помехоустойчивости оптико-электронных приборов (ОЭП) от оптических помех. Проведенные исследования показали высокую помехоустойчивость разработанного ОЭП к широкому классу динамических и статических оптических помех.

**Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:**

1. Сыпин Е.В. Разработка устройства обработки информации цветного пирометра / Е.В. Сыпин, Ю.Л. Станкевич // Научно-техническое творчество студентов: сборник тезисов докладов 52-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ. – Барнаул, 1994. – С.91.

2. Автоматический двухцветовой цифровой пирометр / Е.В. Сыпин [и др.] // Научно-техническое творчество аспирантов и профессорско-преподавательского состава: сборник тезисов докладов 3-ей юбилейной научно-практической конференции БТИ. – Бийск, 1995. – Часть 3. – С.72-73.

3. Сыпин Е.В. Повышение достоверности принятия решения в пирометрическом датчике пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин, Г.В. Леонов // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-2000): материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Бийск, 2000. – С.242-245.

4. Сыпин Е.В. Использование микроконтроллера в пирометрическом датчике пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин, Г.В. Леонов // Оптимизация режимов работы систем электроприводов: межвузовский сборник / КГТУ. – Красноярск, 2000. – С.161-166.

5. Research of Noise Influence on Reliability of Acceptance of the Decision in the Pirometric Gauge of the Fire Signal System / E.V. Sypin [и др.] // Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2002: Workshop Proceedings / NSTU. – Novosibirsk, 2002. – Volume II. – P.73-75.

(Исследование влияния помех на достоверность принятия решения в пирометрическом датчике пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин [и др.] // Международная конференция по электронным приборам и материалам EDM'2002: материалы / НГТУ. – Новосибирск, 2002. – Том II. – С.73-75.)

6. Исследование влияния помех на достоверность принятия решения в пирометрическом датчике пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин [и др.] // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: межвузовский сборник / под ред. Г.В. Леонова. – Бийск, 2002. – С. 260-265.

7. Пирометрический датчик пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин [и др.] // Современные средства и системы автоматизации – гарантия высокой эффективности производства: материалы третьей научно-практической конференции / Томский университет. – Томск, 2002. – С.78-84.

8. Laboratory Bench for Research of Noisy Influence on Reliability of Acceptance of the Decision in the Pirometric Gauge of the Fire Signal System / E.V. Sypin [и др.] // Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings / NSTU. – Novosibirsk, 2003. – Volume II. – P.191-195.

(Лабораторная установка для исследования помехоустойчивости пирометрического датчика пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин [и др.] // Международная конференция по электронным приборам и материалам EDM'2003: материалы / НГТУ. – Новосибирск, 2003. – Том II. – С.191-195.)

9. Использование цветового пирометрического метода для построения датчика пожарной сигнализации [Электронный ресурс] / Е.В. Сыпин [и др.] // Электронный журнал «Исследовано в России», 158, 1898-1907, 2003. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/158.pdf>.

10. Сыпин Е.В. Исследование влияния помех на достоверность принятия решения в пирометрическом датчике пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин, А.Н. Кирпичников, Е.С. Повернов // Каталог Всероссийского конкурса на лучшие научно-технические и инновационные работы творческой молодежи России по естественным наукам. – Саратов: СГТУ, 2003. – С.190-191.

11. Pirometric gauge usage for temperature measuring / E.V. Sypin [и др.] // Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2004: Workshop Proceedings / NSTU. – Novosibirsk, 2004. – P.221-224.

(Пирометрический датчик для измерения температуры / Е.В. Сыпин [и др.] // Международная конференция по электронным приборам и материалам EDM'2004: материалы / НГТУ. – Новосибирск, 2004. – С.221-224.)

12. Сыпин Е.В. Пирометрический датчик пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин, А.Н. Кирпичников // Всероссийская выставка научно-технического творчества молодёжи НТТМ-2004: сборник материалов. – М.: ОАО «ГАО ВВЦ», 2004. – С.212-213.

13. Сыпин Е.В. Обоснование необходимости усовершенствования лабораторной установки для исследования влияния помех на достоверность принятия решения в пирометрическом датчике пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин, А.Н. Кирпичников, Г.В. Леонов // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: межвузовский сборник / под ред. Г.В. Леонова. – Бийск, 2004. – С.109-114.

14. Использование пирометрического датчика пожарной сигнализации для измерения температуры / Е.В. Сыпин [и др.] // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: материалы 4-ой Всероссийской юбилейной научно-практической конференции. – Бийск, 2004. – С.102-106.

15. Сыпин Е.В., Быстродействующий датчик пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин, А.Н. Кирпичников, Г.В. Леонов // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». – 2004. – Выпуск 2. – С.326-336.

16. Разработка устройства для обнаружения и подавления взрывов газа метана и угольной пыли на начальной стадии при помощи пирометрического датчика / Е.В. Сыпин [и др.] // Вестник КузГТУ. – 2005. – №3. – С.59-65.

17. Mathematical Model of Pyrometric Gauge of Fire Alarm System / E.V. Sypin [и др.] // International Siberian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2005: Workshop Proceedings / NSTU. – Novosibirsk, 2005. – P.75-81.

(Математическая модель пирометрического датчика пожарной сигнализации / Е.В. Сыпин [и др.] // Международная конференция по электронным приборам и материалам EDM'2004: материалы / НГТУ. – Новосибирск, 2005. – С.75-81.)

18. Обнаружение и подавление взрыва метана и угольной пыли на начальной стадии его развития / Е.В. Сыпин [и др.] // Уголь. – 2005. – №9. – С.31-33.