

0- 792769

На правах рукописи

БУСЛАЕВА МАРГАРИТА МИХАЙЛОВНА



**МОДУЛЯЦИОННЫЙ ПРИБОР КОНТРОЛЯ
ПЛАМЕНИ НА ОСНОВЕ РАСТРОВОГО
КОММУТАТОРА ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2012

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Дегтярёв Геннадий Лукич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Солдаткин Владимир Михайлович
кандидат технических наук,
Нагулин Юрий Семенович,

Ведущая организация: ОАО «НПО «Государственный институт
прикладной оптики», г. Казань.

Защита состоится «24» февраля 2012 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.079.04 в КНИТУ-КАИ в 504 ауд. 5 уч. здания по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КНИТУ-КАИ.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10, на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «20» января 2012 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000713268

Ученый секретарь
диссертационного совета

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'С.С. Седов'.

С.С. Седов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Пожарная опасность ряда объектов характерна угрозой практически мгновенного распространения пламени.

На таких объектах единственным эффективным способом предотвращения пожарных угроз является создание автоматических систем противопожарной защиты, включающих в себя приборы обнаружения пламени на начальной стадии (приборы контроля пламени) и устройства принудительного пуска огнетушащего вещества в зону воспламенения.

Учитывая, что быстрдействие современных устройств пуска огнетушащего вещества составляет порядка 0,2 с, быстрдействие приборов контроля пламени должно составлять 0,01 – 0,02 с.

Кроме того, при реализации автоматических систем пожаротушения, развивающих высокую скорость выброса огнетушащего вещества, актуальна задача обеспечения высокой достоверной вероятности выдачи сигнала о возгорании, поскольку ложное срабатывание прибора контроля пламени от возможных оптических, электрических и магнитных помех может оказаться опасным для человека и привести к порче оборудования, расположенного в защищаемом помещении.

Существенным недостатком современных средств обнаружения пламени является отсутствие функции непрерывной самодиагностики работоспособности (нет гарантии исправной работы прибора контроля пламени в текущий момент времени).

Как показал анализ, наиболее быстрдействующими приборами контроля пламени, обеспечивающими высокую достоверную вероятность сигнала «пламя», являются датчики-сигнализаторы пламени с механическими модуляторами.

В известных приборах контроля пламени с механическими модуляторами реализуется принцип модуляции контролируемого потока излучения пламени с помощью непрерывно вращающегося диска с прорезью. Этот принцип позволяет определять наличие пламени на ранней стадии, когда его интенсивность еще мала. Быстрдействие модуляционного прибора контроля пламени определяется, прежде всего, его механическими характеристиками (в данном случае – скоростью вращения диска с прорезью). Однако, механическое вращение, предусмотренное в известных приборах контроля данного типа, является их принципиальным недостатком, препятствующим их широкому применению.

Поэтому создание нового модуляционного прибора контроля пламени, обладающего повышенным быстрдействием при заданной достоверной вероятности сигналов и функцией непрерывной

самодиагностики, является актуальной научно-технической задачей и позволит существенно повысить уровень безопасности техногенных объектов.

Объектом исследования являются приборы контроля и регистрации пламени для систем автоматической противопожарной защиты.

Предметом исследования является модуляционный прибор контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов.

Цель работы – повышение быстродействия контроля и регистрации пламени в системах автоматической противопожарной защиты.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие **научно-технические задачи**:

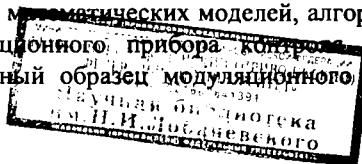
1. Аналитический обзор методов и средств обнаружения пламени.
2. Разработка структуры прибора контроля пламени и устройства модулятора оптического сигнала, разработка математических моделей модулятора и прибора в целом.
3. Разработка алгоритмического обеспечения формирования и обработки информативных сигналов модуляционного прибора контроля пламени и синтез его схемной реализации.
4. Разработка методик проектирования и экспериментальных исследований модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов.
5. Создание экспериментального образца модуляционного прибора контроля пламени и проведение исследований его характеристик.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Разработаны принцип построения, структура, математическая и имитационная модели модуляционного прибора контроля пламени на основе коммутатора оптических каналов. Разработана методика синтеза параметров растрового коммутатора оптических каналов. Разработана математическая модель растрового коммутатора оптических каналов.
2. Разработан алгоритм формирования и обработки информативных сигналов модуляционного прибора контроля пламени. Предложена структурная электрическая схема его реализации.
3. Разработана методика проектирования модуляционного прибора контроля пламени.
4. Разработана и апробирована методика исследования прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов.

Практическая ценность работы.

Применение разработанных математических моделей, алгоритмов и методики проектирования модуляционного прибора контроля пламени позволило создать экспериментальный образец модуляционного прибора



контроля пламени и позволяет создать прибор контроля пламени с требуемым быстродействием при заданной вероятности ложных срабатываний.

Разработанный прибор контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов регистрирует пламя в 50 раз быстрее, чем его аналог, что позволит существенно повысить эффективность систем автоматической противопожарной защиты.

Методы исследования. При решении поставленной научной задачи использовались методы анализа и синтеза, математическое моделирование, экспериментальные исследования, обработка сигналов программными средствами, методы математической статистики.

На защиту выносятся:

1. Принципы построения, структура, математическая и имитационная модели модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов. Методика синтеза параметров растрового коммутатора. Математическая модель растрового коммутатора оптических каналов.

2. Алгоритм формирования и обработки сигналов модуляционного прибора контроля пламени, структурная электрическая схема, и компьютерная программа его реализации, методика экспериментальных исследований прибора.

3. Методика инженерного проектирования модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов.

4. Результаты разработки и исследования экспериментального образца, подтверждающие требуемое быстродействие работы модуляционного прибора контроля пламени и заданную достоверную вероятность сигналов «отсутствие пламени» и «пламя».

Апробация работы. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований обсуждались на VII Всероссийской научно-технической конференции «Современные охранные технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов» (г. Пенза, 2008 г.), на VI Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых» (г. Санкт-Петербург, 2009 г.), на международной молодежной научной конференции «XVII Туполевские чтения» (г. Казань, 2009 г.), на международной научно-практической конференции «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: опыт, проблемы, поиски решения» (г. Казань, 2010 г.), на международной молодежной научной конференции «XVIII Туполевские чтения» (г. Казань, 2010 г.), на научных семинарах кафедры Автоматики и управления КНИТУ-КАИ (г. Казань, 2008-2011 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе две статьи в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, получено два патента РФ на изобретения.

Реализация и внедрение результатов исследования.

Результаты исследования использованы при выполнении НИОКР “Разработка и лабораторные испытания макетного образца модуляционного извещателя горения на основе электромеханотронного двухканального растрового коммутатора оптических сигналов”, рег. № 01201160524, проводимой в рамках программы “У.М.Н.И.К. на Старт” Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, что подтверждается соответствующим актом.

Полученные результаты используются в учебном процессе в рамках цикла по профессиональной переподготовке специалистов “Технические средства охраны и пожарной автоматики” в КНИТУ-КАИ, что подтверждается соответствующим актом.

Достоверность полученных результатов базируется на построении адекватной математической модели исследуемого модуляционного прибора контроля пламени, применении усреднения значительных объёмов данных при обработке результатов исследований модели и экспериментального образца прибора, построении и анализе соответствующих кривых распределения исследуемых сигналов и подтверждается высокой степенью совпадения результатов теоретических и экспериментальных исследований прибора.

Структура и объем диссертации. Диссертация объемом 164 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 106 наименований, содержит 62 рисунка, семь таблиц, три приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определена цель и научные задачи исследования, определена научная новизна, практическая значимость, приведены методы исследования, сведения об апробации и внедрении результатов исследования, дается краткое содержание работы.

В первой главе проведена классификация методов и средств обнаружения пламени, проведен аналитический обзор технической и патентной литературы, а также нормативных требований к средствам обнаружения пламени. На основе изложенного материала проведена постановка научно-технических задач исследования.

В автоматических системах противопожарной защиты время от начала возгорания до начала его тушения определяется следующим выражением:

$$T=T_1+T_2+T_3,$$

где T_1 – время обнаружения возгорания, T_2 – время срабатывания устройства пуска пожаротушения, T_3 – время поступления ОТВ в зону очага горения. Очевидно, что для эффективной работы системы автоматической противопожарной защиты должно быть обеспечено условие $T_1 < T_2 + T_3$. Время T_2 срабатывания современных устройств пуска пожаротушения с момента прихода сигнала «пламя» до момента подачи ОТВ составляет не более 0,2 с. Время T_3 может быть обеспечено не превышающим T_2 путём выбора размещения модулей пожаротушения и их энергетических характеристик.

Соответственно, для построения эффективной автоматической системы противопожарной защиты время обнаружения возгорания в системе должно исчисляться сотыми долями секунды. Анализ технической литературы показал, что у современных приборов контроля пламени оно составляет в лучшем случае 0,5 с.

В приборах контроля пламени, применяемых в составе автоматических систем противопожарной защиты, контролируемым параметром пожарной угрозы выступает поток электромагнитного излучения в определённой части оптического спектра, исходящий из части пространства, в которой контролируется появление пламени, представляющее пожарную угрозу. Прибор контроля пламени в общем случае состоит из оптической системы, приемника оптического излучения и схемы обработки сигнала, которая выдает релейный сигнал, в электронных системах безопасности общепринято называемый извещением, соответствующий состоянию контролируемого пространства: «отсутствие пламени» или «пламя».

Выводы, выполненные по первой главе, включают постановку научных задач исследования, которые необходимо выполнить в рамках диссертации.

Во второй главе проанализированы особенности спектра потока излучения в процессе горения различных веществ и их учёт при построении прибора контроля пламени. Обоснован выбор оптических и оптоэлектронных элементов прибора. Определены способы повышения быстродействия прибора контроля пламени, проведено исследование дальности его действия. Предложена структура, математическая и имитационная модели прибора контроля пламени на основе растрового

коммутатора оптических сигналов. Оценены теоретические пределы погрешностей его работы.

Предложена структурно-функциональная схема модуляционного прибора контроля пламени.

В приборе дополнительно вводится тестовый сигнал, служащий для контроля его работоспособности. Дополнительное введение в последовательность коммутируемых сигналов тестового сигнала Φ_2 расширяет возможности тестирования прибора в каждом периоде колебаний модулятора.

Механический модулятор обеспечивает подачу на один общий фотоприемник поочередно трех оптических сигналов: “темнового” оптического сигнала Φ_0 (при полностью перекрытой чувствительной площадке фотоприемника), оптического сигнала контролируемого пространства (на наличие пламени) Φ_1 , тестового оптического сигнала Φ_2 . Схема обработки формирует на кодовом выходе z дискретные переменные, обозначающие отсутствие либо наличие пламени и диагностические сообщения об исправности или неисправности прибора.

По степени превышения величины Φ_1 над Φ_0 судят о наличии пожарной угрозы, а по степени превышения величины Φ_2 над Φ_0 , а также, при уменьшении разницы Φ_1 и Φ_0 судят об исправности либо неисправности прибора.

Использование в качестве критерия наличия пламени разницы уровней, соответствующих Φ_1 и Φ_0 после прохождения данных сигналов через единый оптико-электронный тракт, но путём последовательного их чередования (в достаточной степени частого) обеспечивает инвариантность к медленно меняющимся параметрическим помехам, воздействующим на оптико-электронный тракт прибора (прежде всего – на фотоприёмник), а также – к методическим низкочастотным погрешностям, обусловленным помехами принимаемого излучения, такими, как колебания естественной солнечной засветки в защищаемых помещениях, воздействие света фар автомобилей, проезжающих мимо окон защищаемых помещений и т.п.

Для реализации такого принципа формирования сигналов в электрической схеме обработки в каждом i -м цикле колебаний механического модулятора после фотоприемника фиксируются электрические сигналы $U_{m1}(i)$, $U_{m2}(i)$, $U_{m3}(i)$, соответствующие средним значениям оптических сигналов $\Phi_0(t)$, $\Phi_1(t)$, $\Phi_2(t)$ в текущем i -м цикле:

$$U_{m1}(i) = \frac{1}{T/3 - 2\Delta t} \cdot \int_{i \cdot T + \Delta t}^{i \cdot T + T/3 - \Delta t} [(\Phi_0(t) + v_0(t)) \cdot K_{OЭ}(v_{\text{нар}}(t)) + v_{\text{эл}}(t)] dt$$

$$\begin{aligned}
 U_{m2}(i) &= \frac{1}{T/3-2\Delta t} \cdot \int_{i-T+2\frac{T}{3}+\Delta t}^{i-T+2\frac{T}{3}-\Delta t} \left[(\Phi_1(t) + v_{\text{вх}}(t)) \cdot K_{\text{ОЭ}}(v_{\text{нар}}(t)) + \right. \\
 &\quad \left. + v_{\text{ЭЛ}}(t) \right] dt \\
 U_{m3}(i) &= \frac{1}{T/3-2\Delta t} \cdot \int_{i-T+2\frac{T}{3}+\Delta t}^{(i+1)T-\Delta t} \left[(\Phi_2(t) + v_{\text{Т}}(t)) \cdot K_{\text{ОЭ}}(v_{\text{нар}}(t)) + \right. \\
 &\quad \left. + v_{\text{ЭЛ}}(t) \right] dt \quad (1)
 \end{aligned}$$

где T – время цикла преобразования сигнала (период колебаний модулятора), с; Δt – время перехода с одной фазы сигнала на следующую, с; $v_0(t)$ – помехи оптического “темнового” сигнала, ВТ; $v_{\text{вх}}(t)$ – помехи входного контролируемого оптического сигнала, ВТ; $v_{\text{Т}}(t)$ – помехи источника тестового оптического сигнала, ВТ; $K_{\text{ОЭ}}(\dots)$ – функция преобразования оптико-электронного канала, включающая параметры оптической системы и фотоприемник, В/ВТ; $v_{\text{нар}}(t)$ – параметрические помехи, воздействующие на фотоприемник; $v_{\text{эл}}(t)$ – помехи электронного тракта, В; i – номер цикла преобразования сигнала, $i=0..n$.

Затем формируются разности: $(U_{m2}(i) - U_{m1}(i))$ и $(U_{m3}(i) - U_{m1}(i))$. Далее для формирования выходного кода прибора z они сравниваются с пороговыми значениями: U_4 – пороговое напряжение, задающее нижнее предельно допустимое значение разности $(U_{m3}(i) - U_{m1}(i))$; U_5 – пороговое напряжение, задающее верхнее предельно допустимое значение разности $(U_{m3}(i) - U_{m1}(i))$; U_6 – пороговое напряжение, задающее нижнее предельно допустимое значение разности $(U_{m2}(i) - U_{m1}(i))$; U_7 – пороговое напряжение, задающее верхнее предельно допустимое значение разности $(U_{m2}(i) - U_{m1}(i))$.

Выходные цифровые переменные прибора, в совокупности составляющие цифровой код z , формируются в соответствии со следующими логическими соотношениями:

$$z = \begin{cases} z_1(i) = 1, & \text{при } (U_{m3}(i) - U_{m1}(i)) < U_4 \\ z_2(i) = 1, & \text{при } (U_{m3}(i) - U_{m1}(i)) > U_5 \\ z_3(i) = 1, & \text{при } (U_{m2}(i) - U_{m1}(i)) < U_6 \\ z_4(i) = 1, & \text{при } U_4 < (U_{m3} - U_{m1}) < U_5, \\ & U_6 < (U_{m2} - U_{m1}) < U_7 \\ z_5(i) = 1, & \text{при } (U_{m2} - U_{m1}) > U_7, \\ & U_4 < (U_{m3} - U_{m1}) < U_5 \end{cases} \quad (2)$$

где z_1 – дискретный сигнал, соответствующий неисправности 1 (неисправность оптико-электронных элементов прибора); z_2 – дискретный сигнал, соответствующий неисправности 2 (неисправность источника питания прибора или канала тестирования); z_3 – дискретный сигнал, соответствующий неисправности 3 (неисправность модулятора или фотоприёмника); z_4 – дис-

кретный сигнал, соответствующий нормальному состоянию прибора («отсутствие пламени» в условиях отсутствия неисправностей); z_5 – дискретный сигнал, соответствующий возникновению пламени в контролируемом пространстве (извещение «пламя»).

Таким образом, получена математическая модель прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов, описываемая уравнениями (1) и (2).

На основе данной математической модели разработана программа имитации работы прибора с учётом воздействия различных факторов и помех и исследованы его характеристики. Результат исследования на модели показал принципиальную реализуемость всех предусмотренных функций, а также инвариантность выходных сигналов к помехам в частотном спектре от 0 до 1 Гц («дрейфы») при частоте модуляции более 40 Гц и возможность достижения заданного быстродействия при 100 Гц. Это принципиально доказывает эффективность работы предложенного модуляционного прибора контроля пламени.

В третьей главе предложена методика выбора параметров растрового коммутатора оптических каналов, разработана и исследована его математическая модель как отдельного элемента прибора. Разработан алгоритм обработки сигналов и синтезирована схема для его реализации.

В качестве основного функционального элемента, реализующего разработанный принцип и структуру прибора, предложен новый модулятор – коммутатор с применением растровых решеток (растровый коммутатор). В общем случае растровые решетки представляют собой периодические структуры с чередующимися прозрачными и непрозрачными полосами (штрихами).

Для реализации заданной функции растрового коммутатора, основываясь на предварительных геометрических построениях, была предложена новая конструкция и методика выбора его параметров. В соответствии с этой методикой две растровые решетки (неподвижная и подвижная), применяемые в коммутаторе, должны иметь вид, представленный на рис. 1, а их параметры должны удовлетворять следующим условиям:

$$d \leq x_m \leq d_3, \quad 2 \cdot d_2 \leq d_3 - d_4 \leq d - 2 \cdot d_1 \quad (3)$$

Здесь d – период растровых решеток, d_1, d_2 – ширина прозрачного участка неподвижной и подвижной растровых решеток соответственно, d_3, d_4 – расстояние между зонами модуляции оптических сигналов неподвижной и подвижной растровых решеток соответственно, x_m – амплитуда колебания подвижной растровой решетки.

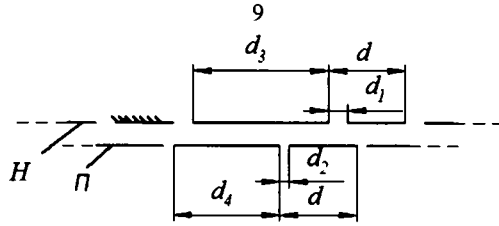


Рис. 1. Параметры неподвижной (Н) и подвижной (П) растровых решеток модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов (схематический вид вдоль штрихов решеток)

В частном и наиболее удобном для анализа сигналов случае для получения информативных сигналов, имеющих равную продолжительность, необходимо чтобы параметры решеток удовлетворяли следующим соотношениям:

$$d_1 = d/4, d_2 = d/8, d_3 = 7 \cdot d/4, d_4 = 11 \cdot d/8 \quad (4)$$

Разработан алгоритм обработки информативных сигналов модуляционного прибора контроля пламени, результатами которого являются извещения, соответствующие состоянию контролируемого пространства и самого прибора по соотношениям (2).

По предложенному алгоритму синтезирована электрическая схема обработки сигналов.

Для исследования процесса пропускания потока излучения растровым коммутатором оптических сигналов разработана его математическая модель в виде функций пропускания неподвижной растровой решетки $q_1(x)$ и подвижной растровой решетки $q_2(x)$, которые соответственно будут иметь вид:

$$q_1(x) = \sum_{k=k_0}^{k_n} \text{rect} \frac{(x-k \cdot d)}{d_1}, q_2(x) = \sum_{k=k_0-m}^{k_n+m} \text{rect} \frac{(x-k \cdot d)}{d_2} \quad (5)$$

где функция $\text{rect}(x/a)$ – одиночный импульс шириной a и единичной высотой; $k, m \in Z$ – числа, определяющее положение решеток относительно их центральной оси.

Соответственно, функция пропускания растрового коммутатора на конечном интервале, определяющимся шириной чувствительной площадки фотоприемника A , представляется в виде:

$$q(\Delta x) = \frac{1}{A} \cdot \int_{-A/2}^{A/2} q_1(x) \cdot q_2(\Delta x - x) dx \quad (6)$$

¹ Соломатин В.А., Шилин В.А. Фазовые оптико-электронные преобразователи. – М.: Машиностроение, 1986. – 144 с.

где Δx – перемещение подвижной растровой решетки относительно неподвижной.

С целью проверки правильности предварительных геометрических построений и потенциальной работоспособности растрового коммутатора с предложенными параметрами (4) была разработана его компьютерная модель и проведено моделирование его работы в программной среде MathCad в соответствии с (5) и (6). Получены результаты в виде модельных кривых, совпадающих с предварительными геометрическими построениями.

Результат исследований по данной главе доказывает потенциальную работоспособность предложенного растрового коммутатора оптических каналов и реализуемость предложенного алгоритма обработки информативных сигналов модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов.

В четвертой главе приведены результаты разработки и экспериментального исследования модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов.

Предложен модулятор – растровый коммутатор с электромеханическим приводом и автоматическим поддержанием колебаний его подвижной растровой решетки, схема которого в составе прибора изображена на рис. 2

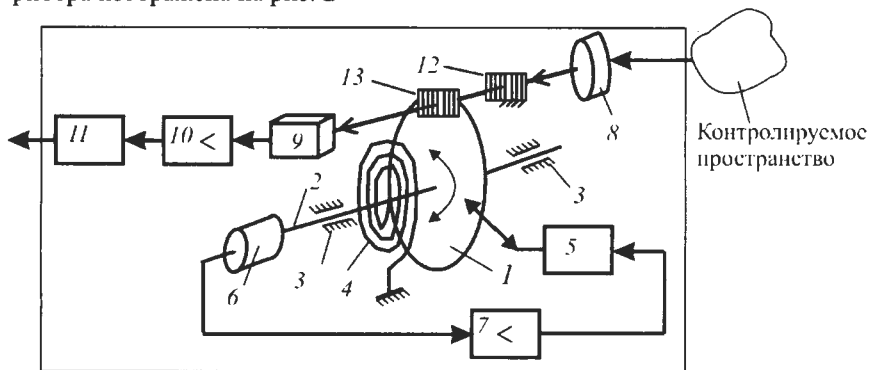


Рис. 2. Структурно-функциональная схема прибора контроля пламени

В составе прибора, помимо оптической системы 8 с встроенным источником оптического тестового сигнала, фотоприёмника 9 с фотоусилителем 10 и схемы обработки 11, содержится модулятор, включающий наряду с растровыми решетками 12 и 13, расположенными в оптическом канале, дополнительно элементы 1-7. Неподвижная растровая решетка 12 модулятора

закреплена на основании, подвижная растровая решетка закреплена на диске 1, совершающем малые угловые колебания. Для этого диск 1 закреплен на валу 2, установленном в подшипниках 3, и соединен с основанием через упругую связь 4. Движение диску 1 сообщает привод 5, который вместе с датчиком угла поворота 6 и регулятором 7 образуют замкнутую автоматическую систему управления колебаниями диска 1, обеспечивающую заданную амплитуду его непрерывных колебаний на резонансной частоте относительно нейтрального положения. Для повышения надежности модулятора предложено заменить крепление диска в подшипниках на упругий подвес, выполняющий одновременно роль пружины 4.

Для обеспечения заданного быстродействия прибора не более 0,01 с резонансная частота колебаний диска должна составлять не менее 100 Гц при условии формирования выходного сигнала по соотношениям (1)-(2), (4).

Создан и экспериментально исследован образец модуляционного прибора контроля пламени. На рис. 3, 4 представлены кривые выходного сигнала экспериментального образца модуляционного прибора контроля пламени на основе коммутатора оптических каналов за один период при двух режимах работы: при отсутствии источника пламени в оптическом канале контролируемого пространства (рис. 3) и при его наличии (рис. 4).

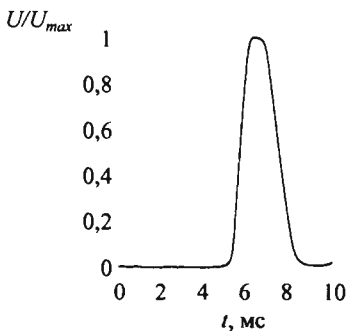


Рис. 3. Кривая выходного сигнала экспериментального образца за один период

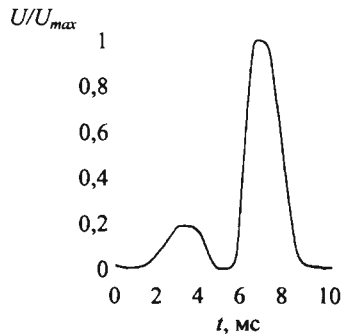


Рис. 4. Кривая выходного сигнала экспериментального образца при наличии источника пламени

В качестве источника полезного сигнала использовалось пламя спиртовой горелки. Сравнение результатов компьютерного моделирования и результатов экспериментов (см. рис. 3, 4) показало адекватность построенной модели. Экспериментальные кривые имеют участки, соответствующие информативным сигналам схемы обработки: уровень контролируемого пространства, “темновой” уровень и уровень тестового сигнала, следовательно, выходной

сигнал экспериментального образца прибора является пригодным для обработки.

На основе экспериментальных данных было определено быстродействие модуляционного прибора контроля пламени на основе коммутатора оптических каналов, которое составило 0,01 с.

Выходной сигнал с фотоприемника содержит шумы (на рис. 3, 4 не видны, поскольку малы по сравнению с рассматриваемыми полезными сигналами), поэтому для его анализа к информативным участкам сигнала применены методы математической статистики.

Для исследования погрешностей прибора по экспериментальным данным (объем выборки 30000 значений) построены сглаженные гистограммы $f^*(U)$ сигнала с фотоприемника при различных условиях работы прибора (рис. 5): при отсутствии помех, при наличии помех в виде нормированной засветки лампой накаливания, при наличии пламени.

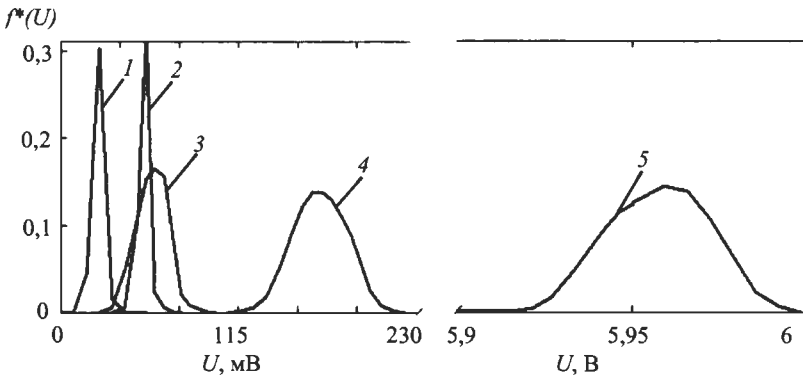


Рис. 5 Сглаженные гистограммы различных уровней исследуемого сигнала: 1 – “темновой” сигнал; 2 – сигнал контролируемого пространства без воздействия помех; 3 – сигнал контролируемого пространства при наличии помех в виде нормированной засветки лампой; 4 – сигнал контролируемого пространства при наличии пламени; 5 – тестовый сигнал

Кривые близки к нормальному распределению, что подтверждено оценкой по критерию χ^2 Пирсона.

Это позволяет по упрощенной модели распределения определять пороги $U_4 - U_7$ в соответствии с заданной вероятностью искомых извещений $z_1 - z_5$, формируемых на выходе прибора в соответствии с (2). Пороги $U_4 - U_7$ по сути являются квантилями с соответствующими значениями вероятности состояния, о котором сигнализирует прибор, выдавая извещения $z_1 - z_5$.

Например, важная характеристика прибора контроля пламени – вероятность ложного определения пламени (вероятность ложной пожарной тревоги, выдаваемой прибором) может быть обеспечена выбором значения порога U_7 , превышение которого разностью сигналов $(U_{m2(i)} - U_{m1(i)})$ в исправном состоянии прибора означает переход выходного сигнала из состояния «отсутствие пламени» в состояние «пламя». Так, по данным выполненных экспериментов при наличии помех в виде нормированной засветки в контролируемом пространстве, при заданной вероятности ложного определения пламени 0,01% порог U_7 был определён как 105 мВ. Другими словами, большая величина разности $(U_{m2(i)} - U_{m1(i)})$ чем 105 мВ действительно в отсутствие пламени возможна по расчётам для проведённых экспериментов и анализу распределений кривых 3 и 1 рис. 5 с вероятностью лишь 0,01%.

Поскольку кривые 1-3 в целом и случайные составляющие кривых 4-5 представляют погрешности прибора, то предлагаемый подход к определению параметров (порогов срабатывания) обоснован случайным характером погрешностей и позволяет учитывать их при формировании выходных сигналов с заданной вероятностью.

Определена дальность действия экспериментального образца модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов при расположении источника пламени вдоль его оптической оси. Она составила не менее 10,5 м, что соответствует установленным нормам.

Разработана методика инженерного проектирования модуляционного прибора контроля пламени на основе коммутатора оптических каналов, основные этапы которой включают: выбор параметров растровых решеток, частоты и амплитуды колебаний подвижной растровой решетки; расчет параметров диска с подвесом и привода; разработку и реализацию электрической и оптической схем, выбор элементов оптико-электронного тракта и схемы формирования и обработки сигналов; определение допустимых пороговых значений уровней сигналов с заданной вероятностью на основе статистической обработки экспериментальных замеров. Оцениваются характеристики прибора и при необходимости проводится коррекция расчетных параметров

Основные выводы

1. Анализ существующих приборов контроля пламени показал, что перспективным направлением совершенствования их основной характеристики – быстродействия является создание приборов контроля модуляционного типа на основе растрового коммутатора.

2. Разработаны математическая и имитационная модели модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов. Модели позволяют принципиально решать задачи анализа его характеристик и сигналов, включая погрешности, а также – синтеза его параметров, в частности, определять пороги срабатывания $U_4 - U_7$ и обоснованно принимать проектные решения при создании прибора.

3. Предложена новая структура модуляционного прибора контроля пламени на основе принципиально нового растрового коммутатора оптических каналов. Разработана методика выбора параметров растрового коммутатора. Полученные результаты позволяют:

- повысить быстродействие модуляционного прибора контроля пламени при малых энергопотреблении, габаритах и уровне собственных механических вибраций;

- обеспечить заданную помехоустойчивость прибора контроля пламени и достоверную вероятность выходных дискретных сигналов за счёт инвариантности к низкочастотным помехам, включая источники методических низкочастотных погрешностей;

- реализовать функцию непрерывного контроля работоспособности модуляционного прибора контроля пламени.

4. Разработана математическая модель растрового коммутатора оптических каналов, как основного элемента прибора. Модель коммутатора позволяет с учётом произвольных геометрических параметров проанализировать его функциональные характеристики.

5. Разработанный алгоритм и электрическая схема обработки сигналов позволяют определять отсутствие или наличие пламени и диагностировать три вида неисправности.

6. По разработанной методике статистической обработки и анализа сигналов модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов реализована программа в среде LabVIEW. Программа в режиме реального времени отображает на мониторе компьютера сигнал с фотоприемника прибора контроля пламени и выдает результат его обработки.

7. Создан экспериментальный образец модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов. Исследования характеристик экспериментального образца показали адекватность его математической модели. Модуляционный прибор контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов устойчиво реагирует на источник пламени с быстродействием не более 0,01 с.

8. Разработанная методика проектирования модуляционного прибора контроля пламени на основе растрового коммутатора оптических каналов позволяет выполнить выбор и произвести расчет его основных параметров исходя из заданного быстродействия, помехоустойчивости и габаритов.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Буслаева, М.М. Разработка осциллятора малых угловых колебаний [Текст] / М.М. Буслаева // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2010. – № 01(65)/2010. – С. 68 – 74.

2. Буслаева, М.М. Исследования оптического модуляционного датчика горения [Текст] / М.М. Буслаева // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2011. – № 1. – С. 41 – 46.

Патенты

3. Модуляционный датчик горения [Текст]: пат. 2332723 Рос. Федерация: МПК G08B 17/12 / Щеглов М.Ю., Щеглова М.М.; заявитель и патентообладатель Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева – № 2006146586; заявл. 14.12.2006; опубл. 27.08.2008, Бюл. № 24. – С. 14.

4. Пожарный извещатель [Текст]: пат. 2336573 Рос. Федерация: МПК G08B 17/117 / Рожин В.В., Халикова Г.А., Щеглова М.М.: заявитель и патентообладатель Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева – № 2006146587; заявл. 14.12.2006; опубл.: 20.10.2008, Бюл. № 29. – С. 10.

Публикации в других изданиях

5. Щеглова, М.М. Растровый коммутатор оптических сигналов [Текст] / М.М. Щеглова // Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции «Современные охраняемые технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов». – Пенза-Заречный, 2008. С. 165 – 168.

6. Буслаева, М.М. Разработка упругого подвеса осциллятора малых угловых колебаний (в приложении к модуляционному датчику горения) [Текст] / М.М. Буслаева // Сборник трудов международной молодежной научной конференции «XVII Туполевские чтения». – Казань, 2009. – С. 230 – 232.

7. Буслаева, М.М. Разработка привода осциллятора малых угловых колебаний (в приложении к модуляционному датчику горения) [Текст] /

М.М. Буслаева // Сборник трудов международной молодежной научной конференции «XVII Туполевские чтения». – Казань, 2009. – С. 227 – 229.

8. Буслаева, М.М. Модуляционный датчик горения для систем защиты пожаро-, взрывоопасных объектов [Текст] / М.М. Буслаева // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: опыт, проблемы, поиски решения», Часть 1. – Казань, 2010. – С. 954 – 961.

9. Буслаева, М.М. Сигнализатор открытого пламени на основе двухканального растрового коммутатора оптических сигналов [Текст] / М.М. Буслаева // Сборник трудов международной молодежной научной конференции «XVIII Туполевские чтения», Том V. – Казань, 2010. – С. 8 – 10.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ.л. 1,0. Усл. печ. л. 0,93 Уч. изд. л. 1,0

Тираж 100. Заказ А 2.

Типография Казанского государственного
технического университета
420111, Казань, К. Маркса, 10

102