

УДК 614.841

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ДЫМОВОЙ ПОЖАРНЫЙ ИЗВЕЩАТЕЛЬ

А.И. КИЦАК, Д.Л. ЕСИПОВИЧ, В.Е. ПОЛЯКОВ

*Белорусский государственный университет  
пр. Независимости, 4, Минск, 220030, Беларусь*

*Поступила в редакцию 20 июля 2011*

Приведено описание оптической схемы предлагаемой конструкции дымового пожарного извещателя, в котором освещение дымовой камеры осуществляется сфокусированным лазерным пучком, имеющим модулированное по периодическому закону пространственное распределение интенсивности излучения в пятне фокусировки. Данная структура зондирующего дымовой поток светового поля позволяет сформировать алгоритм селекции сигналов, производимых частицами дыма с характерными размерами и скоростями движения. В результате повышается устойчивость работы извещателя в условиях воздействия внешних помех, например, частиц пыли, пара, с отличающимися от частиц дыма размерами и (или) скоростями. Проведены модельные эксперименты по регистрации временных сигналов, формируемых частицами различных размеров, пересекающих плоскость фокусировки излучения зондирующего пучка. Исследованы спектральные характеристики зарегистрированных сигналов. Определены возможные алгоритмы селекции сигналов, формируемых микрообразованиями с заданными средними размерами и скоростями движения.

*Ключевые слова:* помехоустойчивость, селективный оптический дымовой пожарный извещатель, внешние помехи, лазерное излучение.

### Введение

Перспективным направлением совершенствования функциональных характеристик дымовых пожарных извещателей является применение для обнаружения дыма излучения полупроводникового лазера вместо используемого в настоящее время излучения светодиода [1, 2]. Высокая направленность лазерных пучков способствует увеличению полезного сигнала, регистрируемого приемником извещателя, улучшению отношения сигнал/шум и, как следствие, снижению вероятности появления ложных извещений о пожаре, вызываемых импульсами, токами или напряжениями, наведенными электромагнитными полями или мощным световым импульсом. Однако лазерные дымовые извещатели, в которых используется такой же, как и в светодиодных извещателях, интегральный принцип регистрации излучения, рассеянного частицами дыма, не защищены от воздействия частиц не дымового происхождения. Сигналы, производимые такими частицами, неотличимы от сигналов, вызываемых частицами дыма, что приводит к ложным тревогам.

Наиболее частой причиной ложных срабатываний дымовых извещателей является реакция их на частицы пыли различного происхождения. От частиц дыма они отличаются, прежде всего, геометрическими размерами, которые могут превосходить размеры частиц дыма в десятки, а то и сотни раз. Имеются различия также в скорости движения данных образований. На настоящее время разработан ряд способов защиты дымовых пожарных извещателей от влияния на их работу частиц пыли, основанных на отличии их размеров от размеров частиц дыма. Это, во-первых, технология «Фильтрекс» [3]. По данной технологии защита оптической камеры извещателя от пыли осуществляется сетчатым фильтром с ячейками порядка нескольких десятков микрон, которые задерживают пыль, одновременно пропуская чистый воздух и частицы

дыма. При этом, однако, требуется нагнетание воздушного потока в оптическую камеру путем использования турбины, а также проведение частых технических обслуживаний извещателей, содержащих сетки с ячейками таких малых размеров. Другим способом снижения влияния на работу извещателя частиц пыли является применение в извещателях для освещения камеры остро сфокусированного лазерного пучка (Pinnacle технология) [4]. Размер сфокусированного пятна подбирают примерно равным среднему размеру частиц пыли. Вследствие высокой яркости излучения в пятне основная доля рассеянного частицами дыма света попадает в приемник излучения именно с этой области объема камеры. Частицы пыли, которые обычно совершают хаотическое движение и сильно разбросаны по пространству, попадая в сфокусированное пятно формируют редкие отдельные яркие всплески рассеянного излучения, производящие на выходе приемника извещателя кратковременные сигналы. Импульсный характер данных сигналов является ключом для дискриминации частиц пыли. Контролером извещателя они воспринимаются как случайные выбросы, которые игнорируются. Надежность используемого алгоритма селекции частиц дыма не высока, поскольку при большой концентрации частиц пыли сигналы, производимые ими, могут не отличаться от сигналов, вызываемых частицами дыма.

Анализ хорошо разработанных на данный момент лазерных оптических схем определения скоростей частиц потоков жидкостей и газов [5] показывает, что некоторые из них могут быть использованы также для селекции частиц по размерам и скоростям движения. Среди них следует выделить дифференциальную схему определения скорости частиц микропотоков [6]. Она отличается простотой реализации и стабильностью функциональных параметров.

Цель данной работы состоит в адаптации вышеупомянутой схемы для обнаружения частиц дыма и разработке алгоритма селекции сигналов, производимых частицами дыма заданных размеров и скоростей.

### Принцип работы селективного оптического дымового извещателя

Для реализации дифференциальной схемы обнаружения частиц дыма излучение лазерного источника разделяется на два когерентных пучка, которые затем сводятся оптической системой в ограниченной области пространства дымовой камеры извещателя. В области пересечения световых пучков формируется интерференционная картина, пространственный период  $\Lambda$  которой равен

$$\Lambda = \lambda / 2n \sin(\alpha / 2), \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина волны излучения,  $n$  – показатель преломления среды, в которой распространяются пучки,  $\alpha$  – угол схождения пучков.

При прохождении частиц дыма через объем локализации интерференционного поля появляется рассеянное излучение с изменяющейся во времени интенсивностью. Данное излучение собирается линзой на фотоприемнике извещателя. Фотоприемник формирует амплитудно-модулированный фототок. Его основными характеристиками являются частота модуляции  $f_x$ , пропорциональная проекции вектора скорости частицы  $u_x$  на перпендикуляр к биссектрисе угла пересекающихся в объеме потока световых пучков и число периодов колебаний сигнала  $N_T$ . При максимальном значении проекции вектора скорости частицы и эффективном размере частицы, не превышающем период интерференционного поля, данные параметры равны соответственно:

$$f_x = u_x / \Lambda, \quad (2)$$

$$N_T = \sqrt{2}W_0 / \Lambda, \quad (3)$$

где  $W_0$  – эффективный радиус зоны локализации интерференционного поля.

Если эффективный размер частицы, движущейся в интерференционном поле, превышает размер его пространственного периода, глубина модуляции, частота и число периодов колебаний фототока изменяются. Поэтому характерные для заданного типа дыма (среднего размера частиц дыма и их средней скорости) значения  $f_x$  и  $N_T$  регистрируемых фототоков могут быть выбраны в качестве критериев селекции сигналов, производимых частицами дыма определенных размеров. Реализация на практике данных критериев может осуществляться, например,

путем настройки усилителя сигнала извещателя на работу в заданном узком диапазоне частот в области характерных значений  $f_x$  и цифровой обработкой сигнала для определения параметра  $N_T$  и соответствия его заданному интервалу значений  $N_T$ .

### Эксперимент

Для исследования особенностей функционирования описанной выше модели селективного извещателя была собрана экспериментальная установка, оптическая схема которой представлена на рис. 1.

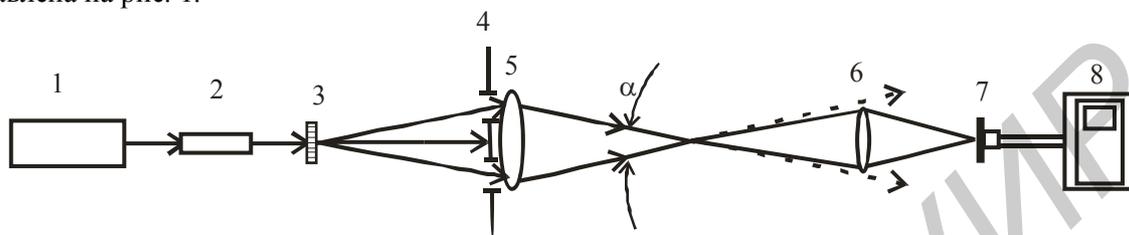


Рис. 1. Дифференциальная схема регистрации сигналов, производимых движущимися частицами: 1 – полупроводниковый лазер; 2 – телескоп; 3 – дифракционный элемент; 4 – диафрагма; 5, 6 – линзы; 7 – фотоприемник; 8 – осциллограф

Она включала полупроводниковый лазер 1 мощностью 30 мВт, генерирующий непрерывное излучение с длиной волны  $\lambda=670$  нм, телескоп 2 для коллимации лазерного пучка, дифракционный элемент 3 с пространственным периодом одномерной фазовой решетки, равным 200 мкм, диафрагму 4, линзы 5 и 6, приемник 7 марки ФД-24Д, и осциллограф 8 серии TDS-2000 В.

Детектирование движущихся микрочастиц осуществлялось следующим образом. Излучение лазера 1 коллимировалось телескопом 2 и направлялось на дифракционный элемент 3. На выходе элемента формировались дифракционные пучки различных порядков с различающимися интенсивностями. С помощью непрозрачного экрана 4 с двумя отверстиями, расположенными на заданном расстоянии между собой, выделялись из совокупности дифракционных пучков два пучка симметричных  $+1$  и  $-1$  порядков. Линзой 5 данные пучки сводились в некоторой плоскости пространства за линзой. В этой плоскости формировалась интерференционная картина с заданным пространственным периодом. При прохождении частиц через область локализации интерференционного поля появлялось рассеянное частицами излучение с изменяющейся во времени интенсивностью. Данное излучение собиралось линзой 6 на фотоприемнике 7. Фотоприемник формировал фототок, который усиливался и регистрировался осциллографом 8.

Моделью дымового образования в эксперименте служил транспарант с изображением хаотически расположенных светлых кружков диаметром, равным 14 мкм. Данный транспарант вводился резким поступательным движением руки в плоскость интерференционной картины по направлению вектора решетки. Период интерференционной картины  $\Lambda$  равнялся 17,6 мкм. Эффективный радиус зоны локализации интерференционного поля  $W_0$  составлял  $\sim 50$  мкм. В качестве модели частиц не дымового происхождения использовались частицы муки, распыляемой над областью локализации того же интерференционного поля.

На рис. 2, а, б, в изображены примеры реализуемых в эксперименте осциллограмм фототоков и соответствующие им спектры мощности, формируемые движущимся транспарантом (а) и одиночными частицами мучной пыли различных размеров (б, в).

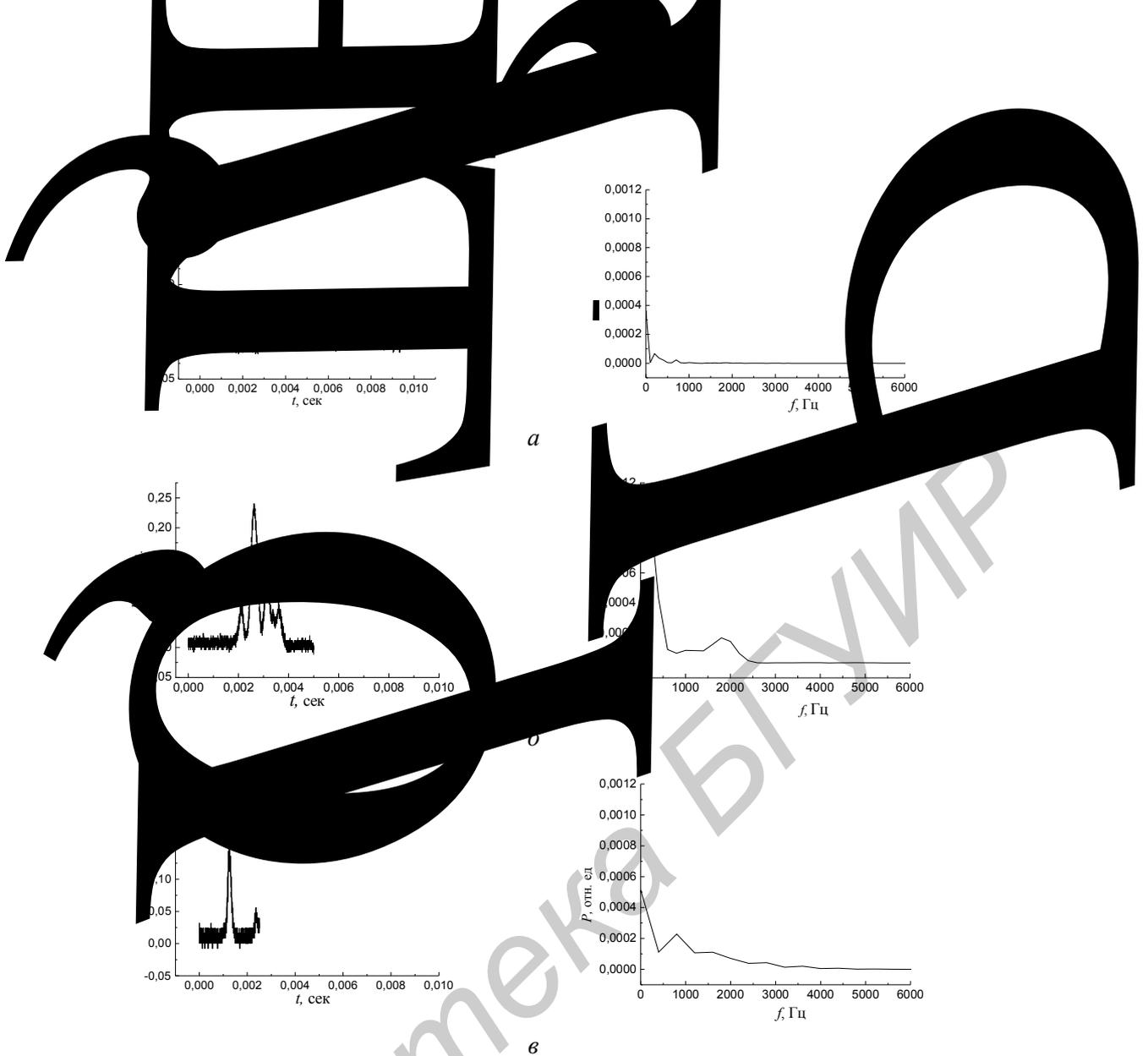


Рис. 2. Осциллограммы фототоков извещателя и их спектры мощности

Видно, что приведенные осциллограммы фототоков отличаются друг от друга своей временной структурой. Фототок, производимый транспарантом, движущимся в интерференционном поле (рис. 2,а), имеет вид непрерывно модулированного во времени сигнала. Фототоки, обусловленные движущимися частицами мучной пыли, имеют форму модулированных импульсов. Из рис. 2,б видно, что число периодов колебаний сигнала  $N_T$  равно 4. Оценка данного параметра по формуле (3) при заданных в эксперименте значениях  $\Lambda = 17,6$  мкм и  $W_0 \sim 50$  мкм дает, примерно, такое же значение  $N_T$ . Следовательно, можно предположить, что данный фототок сформирован частицей с эффективным диаметром меньшим периода интерференционной картины и движущейся в направлении, близком к направлению вектора решетки. Анализ временной структуры сигнала, изображенного на рис. 2,в, свидетельствует о том, что он сформирован частицей с эффективным диаметром, превышающим период интерференционной картины. В этом случае происходит уменьшение числа периодов колебаний  $N_T$  и длительности всего импульса отклика вследствие перекрытия эффективной площадью частицы одновременно нескольких периодов интерференционной картины.

Наблюдаются также отличия в спектрах мощности зарегистрированных сигналов. Спектр фототока, формируемого транспарантом, достаточно узкий с ограниченным числом интенсивных спектральных компонент, расположенных вблизи нулевой частоты. Спектры фототоков, вызванных одиночными частицами мучной пыли, несколько шире. Характерной особенностью их является наличие выделенных по энергии частот, удаленных от нулевой частоты. Положение частот, связанных с временной модуляцией сигнала, относительно нулевой частоты зависит, как следует из формулы (2), от проекции скорости частицы на вектор решетки интерференционной картины, размера частицы и периода интерференционной картины. Чем больше

скорость частиц (их средняя кинетическая температура), тем выше частота модуляции сигнала отклика и тем больше она сдвинута в спектре частот от нулевой частоты. Наличие данной зависимости позволяет выбрать в качестве параметра, по которому можно осуществлять селекцию сигналов, производимых частицами с характерными размерами и скоростями, частоту (не нулевую), на которую приходится максимальная энергия сигнала. Поскольку различные типы дымов характеризуются определенными средними поперечными размерами составляющих частиц и их средними скоростями, можно экспериментально определить характерный интервал частот, на который приходится максимальная энергия регистрируемых сигналов при заданном периоде интерференционной картины зондирующего поля. Осуществляя затем узкополосную фильтрацию сигналов на данных частотах, представляется возможным дискриминировать сигналы, производимые частицами, поперечные размеры которых и скорости существенно отличаются от соответствующих характеристик частиц дыма.

Другим параметром, по которому можно осуществлять селекцию сигналов, вызываемых частицами заданных размеров, может служить число периодов колебаний сигнала  $N_T$ . Данное число не зависит от скорости движения частиц, и определяется только периодом интерференционной картины и эффективным размером зоны локализации интерференционного поля. Определив контрольное  $N_T$  для частиц дыма заданного среднего поперечного размера, можно сравнивать с ним опытные значения  $N_T$ , оцениваемые цифровой обработкой регистрируемых сигналов, и, таким образом, определять наличие частиц заданного размера в зондируемом потоке.

### Выводы

Предложена оптическая схема лазерного дымового пожарного извещателя, обеспечивающая повышенную в сравнении с применяемой Pinnacle технологией помехоустойчивость. Данное преимущество обеспечивается дополнительной периодической пространственной модуляцией интенсивности излучения в зондирующем дым пятне фокусировки. В результате появляется возможность селективировать сигналы, производимые частицами дыма с заданными размерами и скоростями. Сформулированы алгоритмы селекции данных сигналов. Как следует из проведенных экспериментов, повышенная помехоустойчивость предложенной конструкции оптического дымового пожарного извещателя реализуется при зондировании малых концентраций частиц дыма, когда отсутствует многократное рассеяние света. Данные условия, очевидно, могут быть обеспечены на начальной стадии возгорания при использовании специальных мер уменьшения объема зондирующего потока частиц, с которого рассеянный частицами свет попадает в приемник излучения.

## NOISE-IMMUNE OPTICAL SMOKE FIRE DETECTOR

A.I. KITSACK, D.L. ESIPOVICH, V.E. POLYAKOV

### Abstract

The authors describe an optic scheme of a smoke detector in which the lighting of the smoke chamber is performed by a focused laser beam that has a modulated distribution by the periodic law of emanation intensity in the focus point. Such structure of a light field sensing the smoke flow allows to generate an algorithm for signals selection produced by particles with dimensions not exceeding the modulation period of emanation intensity. As the result the stability of detector can be improved under the conditions of external noise such as dust particles, steam whose dimensions exceed the determined period. Model experiments are carried out on recording the time signals generated by particles of different sizes crossing the emission focusing plane of the sensing beam. The spectral characteristics of the recorded signals are examined. Selection algorithms for signals generated by microformations with specified average sizes are defined.

## Литература

1. *Неплохов И.Г.* // Стройпрофиль. 2007. №3.
2. Laser Technology Smoke Detector [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.systemsensor.com/pdf/A05-1028.pdf](http://www.systemsensor.com/pdf/A05-1028.pdf).
3. *Неплохов И.Г.* // Грани безопасности. 2006. №4. С. 32–41.
4. *Donald D.* // United States Patent US 6150935, G 08B 29/00. Nov. 21, 2000.
5. *Ринкевичюс Б.С.* // УФН. 1973. Т. 111, Вып. 2. С. 305–307.
6. *Ринкевичюс Б.С.* //Лазер информ. 2009, №2.