

кандидат физ.-мат. наук **А.И. КИЦАК** / **A.I. KITSACK**, Ph.D.<sup>1</sup>

**А.П. ЛУЩИК** / **A.P. LUSHCHIK**<sup>1</sup>

**Д.Л. ЕСИПОВИЧ** / **D.L. YESIPOVICH**<sup>1</sup>

**И.В. КАВАЛЬЧУК** / **I.V. KAVAL'CHUK**<sup>2</sup>

Przyjęty/Accepted/Принята: 14.04.2014;

Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 06.11.2014;

Opublikowany/Published/Опубликована: 31.12.2014;

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОВРЕМЕННЫХ ТОЧЕЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДЫМОВЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ<sup>3,4</sup>**

### **Improvement in the Operating Effectiveness of Modern Optical Point Smoke Detectors**

### **Zwiększenie skuteczności pracy nowoczesnych optycznych punktowych czujek dymu**

#### **Аннотация**

**Цель:** Точечные оптические дымовые извещатели, как известно, имеют ряд существенных недостатков. Основными из них являются: 1) зависимость чувствительности от средних размеров частиц различных дымов и направления регистрации излучения, рассеянного данными частицами; 2) зависимость времени реагирования от скорости конвективных потоков воздуха и конструктивных характеристик дымовой камеры извещателя. Перечисленные недостатки не характерны для линейных оптических дымовых извещателей, реакция на возгорания которых основана на контроле интенсивности проходящего (не рассеянного) через дым излучения. Целью работы является совершенствование оптической схемы лазерного точечного дымового извещателя, позволяющей применять одновременно, как традиционный для данных извещателей способ обнаружения пожара (по уровню интенсивности излучения, рассеянного частицами дыма), так и способом, применяемый в линейных дымовых извещателях.

**Проект и методы:** Для решения поставленной цели использован метод математического и экспериментального моделирования процессов переноса и регистрации световых пучков, через оптически-неоднородную среду типа дымовой аэрозоли.

**Результаты:** Изготовлен макет точечного двухканального лазерного дымового извещателя. Проведено исследование эффективности его функционирования. Основной исследуемой характеристикой макета извещателя являлась его пороговая чувствительность. Исследования проводились в дымовой проточной камере с поперечными размерами 500х500 мм<sup>2</sup>. Оптическая плотность дыма в камере контролировалось блоком контроля задымленности. Для образования дыма использовались древесные опилки. Наименьшее среднее значение удельной оптической плотности дыма в испытательной камере, при котором зафиксировано стабильное отклонение значений сигналов, измеряемых в обоих каналах макета извещателя, от их средних значений в отсутствие дыма, равнялось 0,11 дБ/м. При этом оптическая плотность дыма, измеренная в канале регистрации рассеянного излучения макета извещателя, составила 0,065 дБ/м.

**Выводы:** Результаты исследования чувствительности усовершенствованного макета лазерного дымового извещателя подтвердили возможность ее повышения благодаря увеличению доли регистрируемого излучения, рассеянного на малые углы. Особая структура светового пучка в извещателе позволяет сформировать эффективный алгоритм обработки регистрируемых сигналов для улучшения помехоустойчивости извещателя.

**Ключевые слова:** точечный дымовой извещатель, линейный дымовой извещатель, лазерный источник, дым, чувствительность, фокусировка излучения

**Вид статьи:** оригинальная научная работа

<sup>1</sup> НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси; адрес: 220046, ул. Солтыса, 183а, Минск, Беларусь; kitsak48@mail.ru / Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE) Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus;

<sup>2</sup> Закрытое акционерное общество «Запспецсервис»; 220040, ул. Максима Богдановича, 120, Минск, Беларусь / Private Company "Zapspectechservice", Republic of Belarus, Minsk;

<sup>3</sup> Процентное соотношение участия в создании статьи / Percentage contribution: Kitsak A.I. – 50%, Lushchik A.P. – 15%, Yesipovich D.L. – 15%, Kaval'chuk A.V. – 20%;

<sup>4</sup> Статью наградила Редакционный Совет / The article was recognised by the Editorial Committee;

**Abstract**

**Aim:** Optical point smoke detectors have a number of significant drawbacks. The foremost are: dependence on the sensitivity of average smoke particle size, of different smoke variety, detection of the smoke emission path, dispersed by given particles, and reaction lead time, determined by the speed of convective air flow and design characteristics of the smoke detector chamber. These drawbacks are absent in linear optical smoke detectors, where the reaction to a fire is determined by the control of flow intensity of transmitted rays (non-dispersed) from smoke emissions. The purpose of this research is to improve the optical design of laser smoke detectors by exploiting traditional fire detection methods (intensity level of rays dispersed by smoke particles), and techniques used by linear smoke detectors.

**Methods:** The project aim is realized with the aid of mathematical techniques and experimental modeling of energy transfer processes, by recording light beam expansion in an optically disparate environment, using aerosol smoke.

**Results:** A two-channel laser smoke detector model was produced and tested for effectiveness. The main focus of tests was on the sensor's sensitivity threshold. Tests were conducted in a flow through smoke chamber, with transverse dimensions of 500-500 mm<sup>2</sup>. The optical smoke density in the channel was controlled by a smoke control block. Sawdust was applied to create smoke. The lowest average unit value of optical smoke density during tests revealed a stable deviation for measured signals in both channels of the sensor. During an absence of smoke the value was identified as 0.11 dB/m. The optical smoke density measurements in the testing chamber, for dispersed ray emissions of the test model, revealed a reading of 0.065 dB/m.

**Conclusions:** Sensitivity research results for the enhanced laser smoke detector confirmed the potential for improving reliability, by increasing the proportion of detected emissions dispersed at small angles. The special structure of the detector light beam allows for the creation of an effective algorithm used for processing of registered signals, thus improving the sensor's resistance to noise interference.

**Keywords:** optical point smoke detector, linear smoke detector, laser source, smoke, sensitivity, emission

**Type of article:** original scientific article

**Abstrakt**

**Cel:** Punktowe optyczne czujki dymu, jak wiadomo, mają wiele istotnych wad. Główne z nich to: 1) zależność czułości od średnich rozmiarów cząsteczek różnorodnych dymów i kierunku rejestrowania promieniowania, rozproszonego przez dane cząsteczki; 2) zależność czasu reakcji od prędkości strumieni konwekcyjnych powietrza i właściwości konstrukcyjnych komory dymowej czujki. Wymienione niedoskonałości nie dotyczą liniowych optycznych czujek dymu, których reakcja na rozgorzenie pożaru polega na kontroli intensywności przechodzącego (nierozproszonego) przez dym promieniowania. Celem pracy jest udoskonalenie optycznego schematu laserowej punktowej czujki dymu, pozwalającego na jednoczesne zastosowanie tradycyjnej metody wykrywania pożaru charakterystycznej dla czujek tego typu (stopień intensywności promieniowania rozproszonego przez cząsteczki dymu) oraz metody stosowanej w liniowych czujkach dymu.

**Projekt i metody:** Aby zrealizować ten cel, wykorzystano metodę matematycznego i eksperymentalnego modelowania procesu przenoszenia i rejestrowania wiązek świetlnych poprzez optycznie niejednorodne środowisko typu aerozol dymowy.

**Wyniki:** Przygotowano model punktowej dwukanałowej laserowej czujki dymu, na którym przeprowadzono badanie jej skuteczności. Podstawową badaną cechą modelu czujki była jej czułość progowa. Badania prowadzono w dymowej komorze przepływowej o rozmiarach poprzecznych 500 x 500 mm<sup>2</sup>. Optyczna gęstość dymu w komorze była kontrolowana przez blok kontroli zadymienia. Do wytworzenia dymu zastosowano trociny. Najmniejsza średnia wartość jednostkowej optycznej gęstości dymu w komorze badawczej, przy której odnotowano stabilne odchylenie wartości sygnałów mierzonych w obu kanałach modelu czujki od ich średnich wartości przy braku dymu, wyniosła 0,11 dB/m. Przy tym optyczna gęstość dymu mierzona w kanale rejestrowania rozproszonego promieniowania modelu czujki wyniosła 0,065 dB/m.

**Wnioski:** Wyniki badania czułości udoskonalonego modelu laserowej dymowej czujki świadczą o możliwości poprawienia jej niezawodności poprzez zwiększenie udziału rejestrowanego promieniowania rozproszonego na małe kąty. Specjalna struktura wiązki świetlnej w czujce pozwala na sformułowanie skutecznego algorytmu przetwarzania rejestrowanych sygnałów w celu poprawy odporności czujki na zakłócenia.

**Słowa kluczowe:** punktowa czujka dymu, liniowa czujka dymu, źródło laserowe, dym, czułość, skupianie promieniowania

**Typ artykułu:** oryginalny artykuł naukowy

## 1. Введение

Наиболее эффективными средствами обнаружения пожара на ранней стадии его возникновения остаются оптические дымовые извещатели. К извещателям данного типа относятся точечные и линейные дымовые извещатели. Обнаружение возгорания данными извещателями осуществляется по эффектам рассеяния и поглощения частицами дыма излучением, проходящим через контролируемое пространство. Основным механизмом обнаружения возгорания точечными дымовыми извещателями является контроль интенсивности излучения, рассеянного частицами дыма.

В линейных извещателях – контроль одновременно интенсивности рассеянного и поглощаемого частицами дыма излучения. Причем процедура контроля точечными дымовыми извещателями заключается в оценке уровня роста интенсивности рассеянного частицами дыма излучения, а в линейных дымовых извещателях – в определении величины ослабления (вследствие рассеяния и поглощения) интенсивности прямопроходящего через дым излучения. Критерием обнаружения пожара точечными дымовыми извещателями является превышение интенсивности рассеянного излучения некоторого порогового значения. Линейными извещателями факт возгорания квалифи-

цируется как пожар при уменьшении интенсивности прямопрошедшего через дым излучения на заданную величину.

Известно, что дымы различной природы (различного характера происхождения) отличаются составом частиц продуктов горения, их концентрацией, размерами и температурой [1]. Соответственно они отличаются также оптическими свойствами, определяемыми данными частицами, такими как эффективность рассеяния, поглощения, а также индикатрисой рассеяния. Например, так называемые, «светлые» дымы (продукты тления хлопка, древесины) характеризуются высоким коэффициентом рассеяния и малым коэффициентом поглощения, а дымы, образующиеся при открытом горении пластика, изоляции кабеля и легко воспламеняющихся жидкостей („черные” дымы) наоборот имеют высокий коэффициент поглощения и низкий коэффициент рассеяния. Из изложенного следует, что точечные оптические дымовые извещатели, в основе работы которых лежит реакция на излучение, рассеянное частицами дыма, более чувствительны к «светлым» дымам, нежели к „черным”. Низкая чувствительность точечных дымовых извещателей к „черным” дымам может приводить к несвоевременному обнаружению возгораний [2]. Поскольку данные извещатели наиболее часто применяются для защиты жилых помещений, потеря драгоценного времени может стоить потери человеческих жизней и больших материальных ценностей. В то же время линейные дымовые извещатели, которые обнаруживают появление дыма по интегральному ослаблению излучения в результате, как рассеяния, так и поглощения его частицами дыма, имеют более однородную чувствительность к различным дымам. В настоящее время они используются в основном для защиты помещений с высокими потолками и большой площади. Несмотря на высокую надежность применяемого в линейных дымовых извещателях алгоритма обнаружения пожара, он не нашел широкой реализации в точечных дымовых пожарных извещателях. Очевидно, основной причиной препятствующей применению его для защиты от пожара помещений небольшой площади является техническая трудность достижения при традиционно используемой элементной базе высокой чувствительности извещателя при малой протяженности контролируемой области пространства (сравнимой с поперечными размерами точечного извещателя). Под традиционной элементной базой понимается, прежде всего, светодиодный источник излучения, применяемый в основном, как в линейных, так и точечных извещателях. Достаточно большая расходимость излучения такого источника не позволяет при малом оптическом пути эффективно отделить излучение, рассеянное частицами дыма на малые углы, от нерассеянного излучения. Поэтому большая часть излучения, рассеянного частицами дыма на малые углы, регистрируется приемником извещателя и снижает его чувствительность. В связи с этим многие производители ограничивают область эффективного действия линейных извещателей мини-

мальной протяженностью защищаемого пространства ~ 6 - 8 м. Однако имеется возможность существенного уменьшения размеров эффективно защищаемого пространства применением в качестве источника излучения извещателя полупроводникового лазера. Излучение такого источника обладает высокой направленностью и, следовательно, имеет очень узкий угловой спектр. Данное обстоятельство позволяет надежно отделить на малых расстояниях излучение источника от излучения, рассеянного частицами дыма, используя технику пространственной фильтрации.

Ранее в работах [3-4] была продемонстрирована эффективность работы современных оптических дымовых извещателей на основе применения лазерного источника излучения и техники оптической обработки информации.

Целью настоящей работы является дальнейшее совершенствование оптической схемы лазерного точечного оптического дымового извещателя, использующего для обнаружения пожара одновременно принципы детектирования дыма классического точечного и линейного дымовых извещателей.

## 2. Управление чувствительностью линейного оптического дымового извещателя

Применение лазерных источников излучения в линейных извещателях позволяет повысить их чувствительности не только благодаря возможности проведения эффективной фильтрации рассеянного излучения, но и вследствие достижения более высокой плотности мощности излучения. Покажем данную перспективу. Чувствительность линейного дымового извещателя определяется значением наименьшей оптической плотности аэрозоля дыма, при которой извещателем выдается из шумов сигнал об обнаружении дыма. Чем меньше это значение, тем выше чувствительность извещателя. Оптическая плотность неоднородной среды (например, дыма) определяется степенью уменьшения интенсивности параллельного монохроматического пучка излучения, прошедшего через заданный отрезок оптического пути в среде. Уменьшение интенсивности излучения происходит вследствие поглощения и рассеяния части излучения частицами дыма. Для светового пучка с длиной волны  $\lambda$  вдали от резонансной частоты поглощения неоднородной среды данный процесс описывается законом Бугера-Ламберта [5]. Математически он выражается соотношением

$$I = I_0 \exp(-kl), \quad (1)$$

где  $I$  – интенсивность прошедшего через неоднородную среду излучения,  $I_0$  – интенсивность падающего на среду излучения,  $k$  – показатель ослабления излучения,  $l$  – протяженность оптического пути светового пучка в неоднородной среде.

Показатель ослабления излучения складывается из концентрационных коэффициентов поглощения и рассеяния излучения, т. е.

$$k = k_{\text{погл.}} + k_{\text{расс.}} \quad (2)$$

Здесь  $k_{\text{погл.}} = C_{\text{погл.}} \sigma_{\text{погл.}}$ ,  $k_{\text{расс.}} = C_{\text{расс.}} \sigma_{\text{расс.}}$ , где  $C_{\text{погл.}}$  и  $C_{\text{расс.}}$  – концентрации поглощающих и рассеивающих частиц дыма соответственно;  $\sigma_{\text{погл.}}$  и  $\sigma_{\text{расс.}}$  – сечения поглощения и рассеяния частиц дыма соответственно (эффективность поглощения или рассеяния излучения частицей дыма).

Из соотношения (1) следует, что доля ослабления интенсивности излучения  $\Delta I = I_0 - I$ , прошедшего через неоднородную среду, равна

$$\Delta I = I_0 (1 - \exp(-kl)), \quad (3)$$

т. е. она тем больше, чем больше: интенсивность излучения, падающего на неоднородную среду  $I_0$ , длина слоя среды  $l$  и коэффициент ослабления среды  $k$ , т.е. коэффициент поглощения и коэффициент рассеяния излучения. Именно величина  $\Delta I$  определяет уровень порогового сигнала (чувствительность извещателя), при котором происходит активация извещателя. Анализ выражения (3) показывает, что при фиксированном значении  $l$  и заданном пороге срабатывания извещатель может обнаружить меньшую концентрацию дыма (меньшее значение  $k$ ) в результате повышения интенсивности зондирующего пучка  $I_0$ . Таким образом, управляя интенсивностью излучения источника извещателя, можно менять чувствительность извещателя при фиксированном значении длины его базы. При этом должен обеспечиваться линейный режим работы приемника излучения извещателя.

Оценим соотношение интенсивностей излучений источников двух извещателей с различными значениями длин их баз (различными протяженностями контролируемых зон), при котором должна обеспечиваться одинаковая чувствительность извещателей. Считая, что интенсивности излучений, регистрируемые приемниками извещателей, подчинятся выражению (1), а показатель ослабления излучения дымовой среды однороден и одинаков для обоих извещателей, используя выражение (3), составим равенство

$$I_1 (1 - \exp(-kl_1)) = I_2 (1 - \exp(-kl_2)) \quad (4)$$

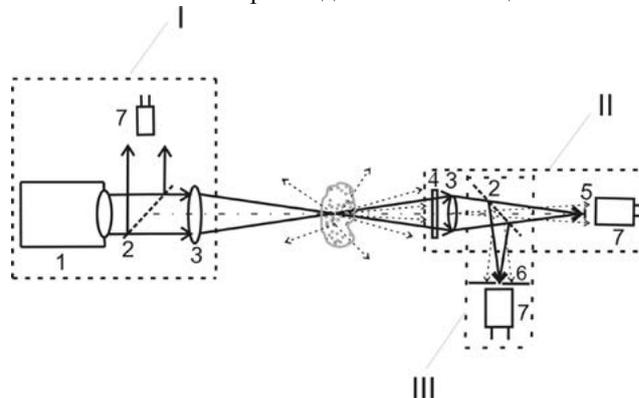
где  $I_1, l_1$  и  $I_2, l_2$  – интенсивность и длина защищаемой зоны первого и второго извещателей соответственно. Для плотности дыма, при котором  $kl_1, kl_2 \ll 1$ , выражение (4) преобразуется к виду

$$\frac{I_1}{I_2} \cong \frac{l_2}{l_1} \quad (5)$$

Из соотношения (5) следует приближенно, что для обеспечения одинаковой чувствительности извещателей при различных длинах защищаемых зон интенсивности их излучателей должны соотноситься обратно пропорционально длинам защищаемых зон. Т.е., чем меньше длина защищаемой зоны линейного извещателя, тем больше должна быть интенсивность излучения его источника для того, чтобы обеспечить такой же уровень активации извещателя, как и при большей длине защищаемой зоны. Поскольку интенсивность излучения представляет собой мощность светового поля, переносимую через единичную площадку, перпендикулярную к направлению распространения поля, можно сказать, что чем меньше защищаемая зона линейного извещателя, тем больше должна быть плотность мощности излучения его источника, чтобы можно было обнаруживать малые концентрации частиц дыма. Высокие плотности мощности излучения могут обеспечить лазерные излучатели при фокусировки излучения на площадку с поперечными размерами, равными нескольким десяткам микрометров или менее.

### 3. Структура оптической схемы точечного лазерного дымового извещателя

На рисунке 1 изображена усовершенствованная по сравнению с ранее рассмотренной в работах [3-4] оптическая схема лазерного дымового извещателя.



**Рис. 1.** Оптическая схема лазерного дымового извещателя I – модуль источника излучения, II – модуль регистрации прямопроходящего излучения, III – модуль регистрации рассеянного излучения

**Fig. 1.** Optical scheme of laser smoke detector I – radiation source module, II – dispersed radiation registration module, III – transmitted radiation registration module

Схема включает модуль источника и два модуля регистрации излучения. Модуль источника состоит из лазера 1, генерирующего излучение с малой угловой расходимостью, прозрачной пластинки 2, отражающей часть излучения на опорный приемник 7, самого опорного приемника 7 и линзы 3, фокусирующей излучение лазера в объем дымовой камеры. Модули регистрации излучения включают оптический фильтр 4 с максимумом пропускания на длине волны излучения источника, собирающую линзу 3, форми-

рующую изображения пятна фокусировки излучения с увеличением, равным 1, в плоскостях вблизи светочувствительных площадок сигнальных приемников 7, прозрачную пластинку 2 для деления излучения, собираемого линзой 3, на две части. Одна из них, отклоненная пластинкой 2, используется для выделения с помощью узкой диафрагмы 5 прямопроходящего через задымленную среду излучения, а другая, прошедшая через пластинку 4, формирует канал регистрации излучения, рассеянного частицами дыма. Отделение рассеянного излучения от прямопрошедшего через дым осуществляется блокировкой последнего непрозрачным экраном 6, установленным в плоскости изображения пятна фокусировки. Модуль источника совместно с модулем регистрации прямопроходящего излучения составляют собственно оптическую схему линейного дымового извещателя. Модуль источника совместно с модулем регистрации рассеянного излучения формируют оптическую схему традиционного точечного дымового извещателя. Достоинством представленной оптической схемы лазерного извещателя является упрощение его конструкции (сокращение числа оптических элементов) и, главное, повышение чувствительности канала регистрации рассеянного излучения. Такая возможность появляется благодаря эффективному сбору приемной фокусирующей оптикой (линзой 3), расположенной на оптической оси канала источника излучения, света, рассеянного частицами дыма на малые углы. Доля этого света максимальна для большинства горючих материалов.

#### 4. Принцип обнаружения возгорания лазерным дымовым извещателем с модернизированной оптической схемой

Излучение полупроводникового лазера 1 направляется на прозрачную пластинку 2 и положительную линзу 3 модуля источника излучения. Часть излучения, отраженная пластинкой, регистрируется опорным приемником 5, контролирующим мощность исходного излучения лазера. Излучение, прошедшее через пластинку 2, фокусируется линзой 3 в объем дымовой камеры. Исходящее из пятна фокусировки излучение, пройдя через светофильтр 4, попадает на линзу 3 модуля регистрации излучения. Линза 3 совместно с прозрачной пластинкой 2 формирует два идентичных изображения пятна фокусировки в масштабе  $\sim 1:1$  в плоскостях светочувствительных площадок приемников излучения 7. Изображение пятна, образованное лучами прошедшим через пластинку, блокируется непрозрачным экраном 6 с диаметром, несколько превышающим диаметр самого пятна. Второе изображение, пропускается через отверстие диафрагмы 5 на светочувствительную площадку приемника 7. Диаметр отверстия диафрагмы подбирается, примерно, равным диаметру пятна фокусировки в отсутствие дыма. Диафрагма позиционируется относительно положения пятна фокусировки таким образом, чтобы через ее отверстие проходило не менее

85% интенсивности излучения лазера В отсутствие дыма излучение лазерного источника попадает только на опорный приемник 7 и сигнальный приемник 7 блока регистрации прямопроходящего излучения. По сигналам, формируемым опорным приемником, осуществляются контроль мощности излучения лазерного источника. Сигнальным приемником контролируется интенсивность излучения, проходящего через дымовую камеру. При появлении дыма часть излучения источника рассеивается частицами дыма в сторону линзы 3 модуля регистрации излучения. Причем, большая интенсивность рассеянного излучения поступает из области пятна фокусировки дымовой камеры, где плотность мощности излучения источника повышенная. Рассеянное излучение, прошедшее через прозрачную пластинку 2, беспрепятственно попадает на приемник излучения 7 и регистрируется им. Величина регистрируемого сигнала растет с увеличением плотности дыма. Рассеянное излучение, отраженное пластинкой 2, практически полностью блокируется экраном 5 и не попадает на приемник излучения, расположенным за ним. Данным приемником, как видно из рис.1, регистрируется только излучение не рассеянное на частицах дыма. Причем, с увеличением плотности дыма происходит уменьшение регистрируемого сигнала. Сигналы, поступающие из каналов регистрации рассеянного и прямопроходящего излучений, поступают в блок обработки. При достижении определенного соотношения уровней сигналов на выходе его формируется сигнал «Пожар».

Для исследования функциональных характеристик предложенной конструкции двухканального дымового извещателя был собран его макет. Модуль источника излучения макета состоял из полупроводникового лазера МЛ126-0660-ЛД7 с драйвером стабилизации и модуляции мощности излучения и собирающей линзы. Лазер генерировал излучение с длиной волны  $\lambda = 660$  нм и расходимость  $\sim 0,3$  мрад. Средняя мощность излучения составляла  $\sim 3$  мВт. Собирающая линза имела апертуру, равную 16 мм, и фокусное расстояние  $f = 26$  мм. Излучение лазера фокусировалось данной линзой в пятно размером  $\sim 200$  мкм. Модуль регистрации прямопроходящего излучения включал собирающую линзу с апертурой  $\sim 14$  мм и фокусным расстоянием  $f = 13$  мм, прозрачную пластинку из оптического стекла, диафрагму с отверстием диаметром  $\sim 200$  мкм и приемник излучения ФД 265А. Напряжение питания фотоприемника равнялось 4 В. Площадь его светочувствительной площадки составляла  $\sim 3$  мм<sup>2</sup>. Максимум спектральной чувствительности приходился на 800 нм. Фотоприемник включался в цепь усилителя фототока. В модуле регистрации рассеянного излучения использовалась та же собирающая линза, что и в модуле регистрации прямопроходящего излучения. Дополнительно в нем использовался непрозрачный экран, изготовленный из зачерненной стальной проволоки диаметром 0,5 мм и приемник излучения ФД 263-01. Напряжение питания фотоприемника равнялось 4 В. Площадь его светочувствительной площадки составляла  $\sim 10$  мм<sup>2</sup>.

Максимум спектральной чувствительности ~ 800 нм. Приемник излучения подключался к входу усилителя напряжения. Макет включал также модуль цифровой обработки и индикации сигналов. Он был собран на основе 8-битного микроконтроллера PIC16F876A и жидкокристаллического индикатора SC0802A с двумя 8-разрядными регистрами данных и команд. Микроконтроллер использовался для модуляции интенсивности лазерного излучения, оцифровки сигналов с фотоприемников регистрации прямопроходящего и рассеянного частицами дыма излучения, выполнения математических операций над данными сигналами, запоминания их и вывода на жидкокристаллический индикатор результатов измерений. Данные измерений выражались в единицах оптической плотности среды, либо в электрических единицах, пропорциональных мощности регистрируемых излучений.

## 5. Результаты экспериментов

Основной исследуемой характеристикой макета извещателя, как и в работах [3-4], являлась его пороговая чувствительность.

Для определения чувствительности макета использовался дымовой испытательный канал с поперечными размерами 500x500 мм<sup>2</sup>. Оптическая плотность дыма в канале контролировалось блоком контроля задымленности. Диапазон откалиброванных значений измеряемой удельной оптической плотности среды в канале составляет 0,02-0,7 дБ/м. Перед определением пороговой чувствительности извещателя дымовой канал проветривался принудительной вентиляцией в течение 30 мин. Макет извещателя помещался внутрь камеры. Осуществлялась его калибровка. Она заключалась в запоминании в регистре памяти микроконтроллера средних значений сигналов на выходе усилителей каналов извещателя в отсутствие дыма. При этом измеряемые значения сигналов для канала регистрации прямопроходящего излучения визуализировались на экране жидкокристаллического индикатора в единицах дБ, а для канала регистрации рассеянного излучения в единицах дБ/м. Затем в дымовом канале формировалось задымление с применением древесных опилок. Степень задымления оценивалась одновременно по показаниям измерителя удельной оптической плотности дыма дымового канала и значениям сигналов, отображаемых на экране жидкокристаллического индикатора макета извещателя. Наименьшее среднее значение удельной оптической плотности дыма в испытательном канале, при котором зафиксировано стабильное отклонение значений сигналов, измеряемых в обоих каналах макета извещателя, от их средних значений, зарегистрированных при калибровке в отсутствие дыма, как и в предыдущих работах, равнялось 0,11 дБ/м. При этом средняя оптическая плотность дыма, при которой отмечалась уверенная реакция канала регистрации рассеянного излучения, как и ожидалось, уменьшилась и равнялась 0,065 дБ/м. Повышение чувствительности данного канала обусловлено увеличением

доли регистрируемого рассеянного излучения в собранной оптической схеме макета извещателя.

## 6. Заключение

Предложена структура оптической схемы лазерного извещателя, позволяющая упростить его конструкцию и одновременно повысить чувствительность и надежность обнаружения возгорания благодаря эффективной регистрации доли излучения, рассеянного на малые углы.

## Литература

1. Neplokhov I.G., *Razvitiye dymovykh pozharnykh izveshchateley*, „Grani bezopasnosti” Issue 5, 2008, pp. 22-25.
2. Neplokhov I.G., *Lineynyye dymovyye pozharnyye izveshchately*, „Grani bezopasnosti” Issue 33, 2006, pp. 42-46.
3. Kitsak A.I., *Dvukhkanal’nyy opticheskiy dymovoy izveshchatel’*, „Doklady BGUIR” Vol. 84 Issue 6, 2014, pp. 101-103.
4. Kitsak A.I., Luschnik A.P., Yesipovich D.L., Kavalchuk I.V., *Sovershenstvovaniye mekhanizma obnaruzheniya vozgoraniya sovremennykh tochechnykh dymovykh izveshchateley*, „Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya” Vol. 35, Issue 3, 2014, pp. 86-95.
5. Landsberg G.S., *Optika*, Nauka, Moscow 1976, p. 600.

**Кицак Анатолий Ильич** – ведущий научный сотрудник отдела исследований автоматических средств обнаружения и ликвидации чрезвычайных ситуаций НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, кандидат физико-математических наук. Область интересов: физическая оптика, лазерная физика, когерентная и нелинейная оптика, радиофизика, электромагнитная совместимость. Автор (соавтор) около 50 научных работ и 8 изобретений.

**Лущик Анатолий Петрович** – полковник внутренней службы, начальник Центра испытаний НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси. Область интересов: теплофизика, термодинамика, автоматизация систем противопожарной защиты. Автор (соавтор) более 30 научных работ.

**Есипович Дмитрий Леонидович** – подполковник внутренней службы, начальник отдела организации обеспечения испытаний НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси. Область интересов: пожарная автоматика, цифровая обработка сигналов. Автор (соавтор) более 30 научных работ и 4 изобретений.

**Кавальчук Иван Владимирович** – главный конструктор закрытого акционерного общества «Запспецтехсервис». Область интересов: цифровая обработка сигналов, программирование. Автор (соавтор) более 10 научных работ.