

# ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ СО СПЕКТРАЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИЕЙ ПЛАМЕНИ

## FLAME DETECTORS WITH IMPLEMENTATION OF THE SPECTRAL SELECTION METHOD

**Кулагов Вадим Борисович**

канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник  
E-mail: 21@giricond.ru

Научно-исследовательский институт “Гириконд”,  
г. Санкт-Петербург

**Аннотация:** Рассмотрено применение метода спектральной селекции в пожарных извещателях пламени. Разработана компьютерная модель и проанализированы пути совершенствования спектральных характеристик фоточувствительных приемников извещателя. Предложены варианты комбинированных фоточувствительных приемников, обеспечивающих защищенность от оптических тепловых помех.

**Ключевые слова:** пожарные извещатели пламени, спектральная селекция, помехозащищенность, оптимизация.

**Kulagov Valim B.**

Ph. D. (Tech.), Senior Researcher  
E-mail: 21@giricond.ru

Research Institute “Girikond”,  
St. Petersburg city

**Abstract:** This article deals with the problems of using the spectral selection method for flame detection. Different methods of improving the spectral characteristics of the photosensitive receiver were analyzed through the use of developed computer model. Different combined photosensitive receivers were proposed that ensure immunity to all types of optical thermal noises.

**Keywords:** flame detectors, spectral selection, noise immunity, optimization.

### ВВЕДЕНИЕ

Пожарные извещатели пламени (ИП), как и остальные средства безопасности, непрерывно совершенствуются. Спектральная чувствительность фотоприемных элементов (ФП) современных извещателей более точно учитывает специфику и особенности излучения как пламени, так и различных оптических помех. В настоящее время основная часть извещателей для распознавания пламени использует детектирование низкочастотной модуляции излучения в инфракрасном диапазоне. Широкое распространение получило также детектирование излучения пламени в ультрафиолетовом поддиапазоне, свободном от излучения Солнца. Дополнительно к применяемым методам разработан и внедрен метод спектральной селекции пламени, не требующий анализа амплитудных характеристик излучения и базирующийся исключительно на спектральном анализе с целью выявления характерных максимумов излучения [1].

Перспективность метода спектральной селекции пламени определяется высокой помехозащищенностью по отношению к ультрафиолетовым и “мерцающим” оптическим помехам, а также высоким быстродействием. К настоящему времени спектральная селекция пламени реализована в серии инфракрасных извещателей “Набат” производства ОАО “НИИ “ГИРИКОНД” [2, 3]. Начиная с момента их разработки, а это более 10 лет, были подтверждены высокие технические характеристики и конкурентоспособность извещателей при эксплуатации в самых разных условиях. Однако потенциал метода спектральной селекции реализован не до конца. В данной статье

представлены результаты анализа путей совершенствования метода.

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Пожарный ИП представляет собой оптоэлектронное устройство, принимающее входной поток излучения и выделяющее признаки излучения пламени. На входное окно извещателя наряду с излучением пламени могут воздействовать различные оптические помехи: Солнце, искусственные источники света, инфракрасное излучение раскаленных и нагретых тел, излучение дугового разряда и другие. Поэтому основная задача пожарного ИП — надежное детектирование пламени на фоне разнообразных оптических помех. Согласно [4] при заданной чувствительности ИП должен обеспечивать отсутствие ложных срабатываний от следую-

ших видов оптических помех: фоновой освещенности люминесцентной лампой 2500 Лк и фоновой освещенности лампой накаливания 250 Лк. В сложных условиях эксплуатации требуется дополнительная защита от помех, например, в производственных условиях часто требуется защита от инфракрасного излучения раскаленных и нагретых объектов. Повышение помехозащищенности ИП, работающих по методу спектральной селекции, может быть достигнуто за счет более точного подбора спектральных диапазонов чувствительности, изменения количества рабочих спектральных диапазонов, совершенствования методов обработки сигналов.

Подавляющее большинство пожаров возникает при горении углеводородных веществ, пламя которых имеет характерные особенности — наличие пиков спектра излучения на длинах волн 2,7 и 4,3 мкм, обусловленных резонансным излучением молекул продуктов горения: воды и углекислого газа, а также наличие низкочастотной автомодуляции излучения (515 Гц) из-за турбулентного характера

пламени. Помехи в оптическом диапазоне по характеристике излучения можно разбить на два класса — с непрерывным тепловым и с селективным люминесцентным излучением. К первым относятся солнечный прямой и отраженный свет, свет ламп накаливания, инфракрасное излучение раскаленных и нагретых объектов, ко вторым — свет люминесцентных ламп, светодиодов и светодиодных ламп. Первые имеют непрерывную спектральную характеристику, близкую к спектру излучения абсолютно черного тела и представляют особую опасность, поскольку действуют и на длинах волн 2,7 и 4,3 мкм, присущих пламени. Помехи второго класса имеют спектральные характеристики излучения в видимой области спектра и на работу инфракрасных ФП с оптическими фильтрами, отсекающими видимую часть спектра, влияния не оказывают. Таким образом, для повышения помехозащищенности необходимо, уделив особое внимание тепловым источникам излучения, выработать способы снижения их влияния на работу ИП.

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ “МОДЕЛЬ ИЗВЕЩАТЕЛЯ”

Для решения поставленной задачи было разработано программное обеспечение “Модель извещателя”, выполняющее компьютерное моделирование работы ИП при воздействии на него излучения пламени и тепловых оптических помех. В качестве исходных данных были взяты характерный спектр излучения пламени углеводородов — спектр бунзеновской горелки [5] (рис. 1) и спектры излучения абсолютно черного тела, рассчитанные при разных температурах по формуле Планка (рис. 2). На инфракрасный диапазон приходится до 95 % всей энергии излучения пламени [6], планковское излучение нагретых объектов также преобладает в ближней и средней областях инфракрасного излучения, поэтому оптические тепловые помехи являются достаточно существенными. Кроме этого, при разных температурах объекта значительно меняется спектральный состав оптической помехи, что усложняет защиту от нее.



Рис. 1. Спектр излучения пламени бунзеновской горелки

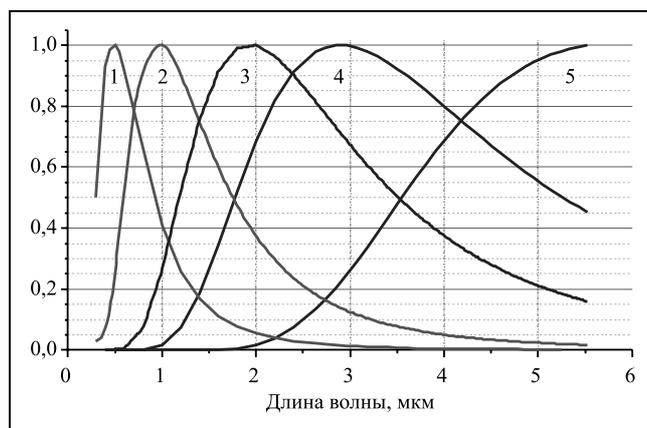


Рис. 2. Спектр теплового излучения абсолютно черного тела: 1 — Солнце; 2 — лампа; нагретые предметы: 3 —  $T = 1500$  К; 4 —  $T = 1000$  К; 5 —  $T = 500$  К

Данные спектральных характеристик чувствительности фотодиодов были занесены в электронную таблицу Excel, откуда они импортировались для обработки в основную программу.

Программное обеспечение “Модель извещателя” было разработано на языке Java с использованием свободной библиотеки построения графиков jFreeChart. Алгоритм программы моделирует работу ИП при воздействии на него различных источников излучения. На основе известных спектров излучения источников и спектров чувствительности ФП рассчитываются интегральные чувствительности для каждой пары источник-приемник. Интегральная чувствительность определяется как отношение величины интеграла произведения спектральной плотности потока излучения на спектральную чувствительность ФП к величине полного потока излучения [7]. Сигнал ФП линейно пропорционален полученному значению благодаря использованию фо-

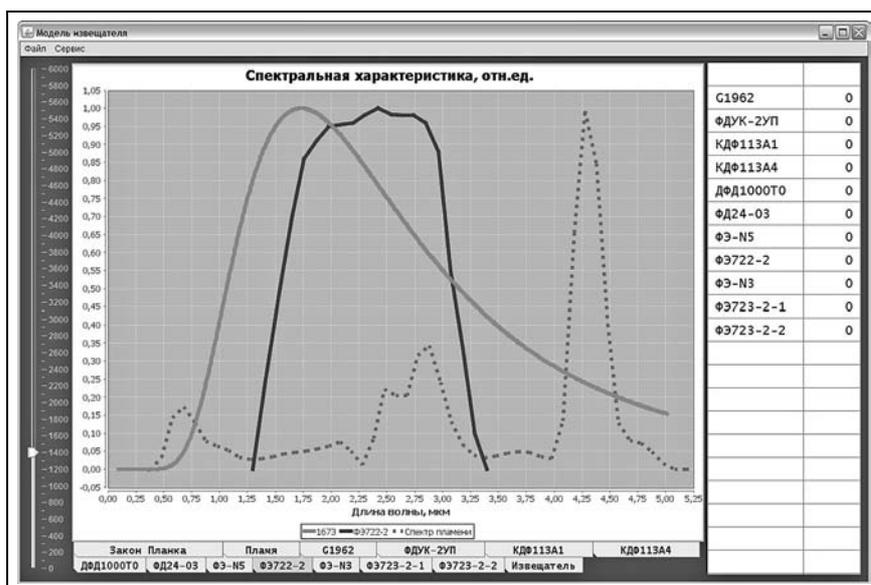


Рис. 3. Скриншот программы “Модель извещателя”

тодиодов. Таким образом, для каждого ФП программа рассчитывает значение фотосигнала, вызванного излучением пламени бунзеновской горелки, и значение фотосигнала, вызванного тепловым излучением абсолютно черного тела заданной температуры. С целью реализации метода спектральной селекции в компьютерной модели извеща-

теля предусмотрена дальнейшая обработка полученных сигналов — допускается комбинировать ФП, складывая и вычитая их сигналы с различными весовыми коэффициентами. На рис. 3 приведено представление программы “Модель извещателя”. В нижней части окна расположены вкладки. На вкладках “Закон Планка” и “Пламя” расположены графики спектральной плотности излучения абсолютно черного тела и пламени бунзеновской горелки соответственно. Далее идет ряд вкладок с названиями ФП, на каждой из которых отображаются спектр излучения абсолютно черного тела, пламени (штриховая линия) и спектр чувствительности данного ФП. На последней вкладке “Извещатель” отображается результат работы программы. На левой стороне окна расположен ползунок, определяющий температуру абсолютно черного тела в градусах Цельсия в диапазоне от 0 до 6000 °С. В правой части окна расположена таблица с перечислением рассматриваемых ФП, а также

#### Спектральные характеристики чувствительности фотодиодов

Фото-приемник	Материал	Спектральный диапазон чувствительности, мкм	Изготовитель
G1962	GaP	0,19...0,55	Hamamatsu (Япония)
ФДУК-2УП	Si	0,19...1,15	АО "Техноэксан" (Россия)
КДФ113А1		0,40...1,15	ООО "Мэри" (Россия)
КДФ113А4		0,70...1,15	
ДФД1000ТО	InGaAs/InP	0,90...1,70	НПФ "Дилаз" (Россия)
ФД24-03	GaInAsSb/GaAlAsSb	1,15...2,32	ООО "АИБИ" (Россия)
ФЭ-N5*	PbSe	1,20...2,50	ОАО "НИИ "ГИРИКОНД" (Россия)
ФЭ722-2		1,30...3,20	
ФЭ-N3*		2,10...3,20	
ФЭ723-2-1		1,40...4,00	
ФЭ723-2-2		2,10...4,00	
* — перспективная разработка			

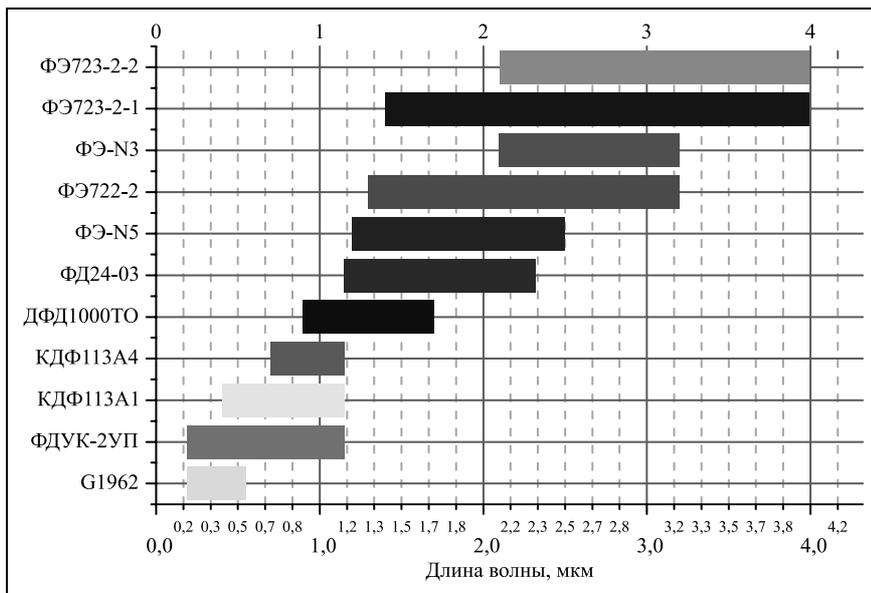


Рис. 4. Спектральные чувствительности фотоприемников

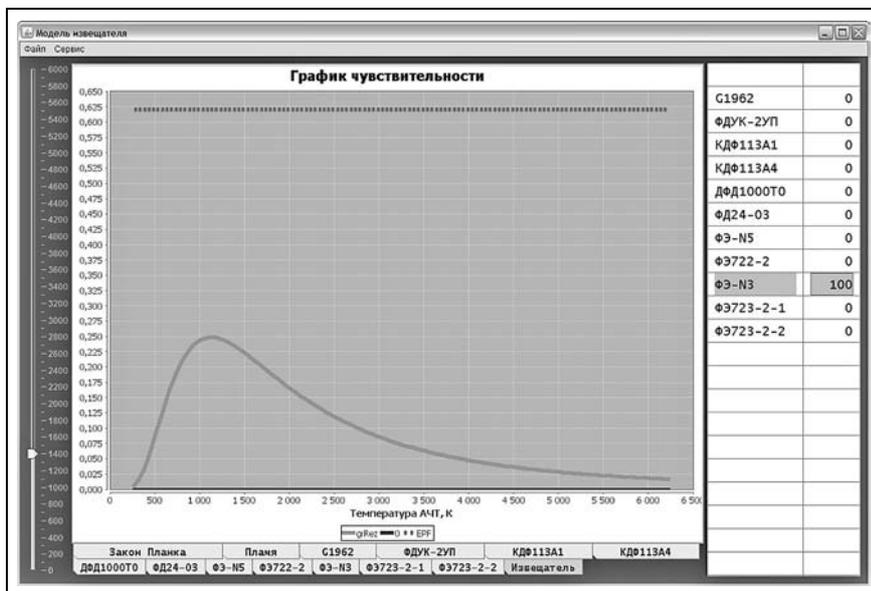


Рис. 5. Сигнал фотоприемника ФЭ-N3

соответствующих каждому ФП коэффициентов усиления при использовании в обработке по методу спектральной селекции.

### СПЕКТРАЛЬНАЯ СЕЛЕКЦИЯ

Метод спектральной селекции пламени требует точного измерения уровня интенсивности излучения в разных спектральных поддиапазонах оптического диапазона, поэтому в

качестве ФП необходимо использовать полупроводниковые фотодиоды, которые обеспечивают линейную зависимость фотосигнала от потока излучения. Для включения фотодиода предпочтителен фотогальванический режим, позволяющий исключить шумовые и дрейфовые токи, протекающие через нагрузку при фотодиодном режиме включения. С учетом этих

требований для компьютерного моделирования были выбраны фотодиоды со спектральной чувствительностью от ультрафиолетовой до инфракрасной области (см. табл.), графическое представление областей чувствительности различных ФП приведено на рис. 4.

Рассмотрим пример работы одного из вариантов извещателя с двумя спектральными каналами: основным, реагирующим на излучение пламени, и защитным, обеспечивающим нечувствительность к световым источникам: лампе накаливания и Солнцу [8]. Возьмем в качестве основного канала ФП ФЭ-N3, спектральная чувствительность которого совпадает с пиком излучения пламени на длине волны 2,7 мкм. Если защитный канал отключен, то все нагретые тела могут создавать ложный сигнал о пожаре, так как сигнал извещателя выше нулевого значения для всех температур (рис. 5). Максимальный сигнал будет наблюдаться при температуре нагретого тела около 1100 К, когда максимум его излучения совпадает с максимумом спектральной характеристики ФП (рис. 6). Штриховые линии на рис. 5, 6 отображают соответствующую информацию для излучения пламени бунзеновской горелки. Абсолютные значения на графиках чувствительности не имеют значения, так как в реальных условиях соотношение сигналов пламени и помехи могут сильно меняться в зависимости от того, насколько близко к ФП расположены источник пламени или помехи. В данном случае сигнал пламени на графике чувствительности отображен для сравнения отклика различных комбинаций ФП на оптическую тепловую помеху

с помощью эталона в виде интегральной чувствительности к пламени бунзеновской горелки.

Чтобы обеспечить отсутствие ложного срабатывания от лампы накаливания с температурой нити около 3000 К, применен ФП КДФ113А4, чувствительный в видимой и ближней ИК-области (рис. 7). Задание отрицательного коэффициента усиления сигнала в защитном канале обеспечивает компенсацию излучения оптической помехи и отсутствие сигнала извещателя от помехи (рис. 8). При коэффициенте усиления, равном 60, сигнал о пожаре не появится при засветке извещателя лампой накаливания (3000 К) и Солнца (6000 К), но чувствительность к низкотемпературным тепловым помехам сохраняется.

С целью совершенствования метода спектральной селекции и улучшения помехозащищенности ИП было опробовано применение различных комбинаций из двух и трех ФП. Основным каналом служил ФП с чувствительностью в области спектрального максимума излучения пламени 2,7 мкм, а в качестве защитных каналов применялись ФП с преобладанием чувствительности вне спектрального максимума пламени. Компьютерное моделирование показало, что компенсации чувствительности к тепловым помехам нельзя добиться, применяя ФП ультрафиолетовые или видимого диапазона. Но, используя ФП инфракрасного диапазона с определенными спектральными характеристиками, удалось достичь требуемого результата, при этом чувствительность к излучению пламени сохраняется.

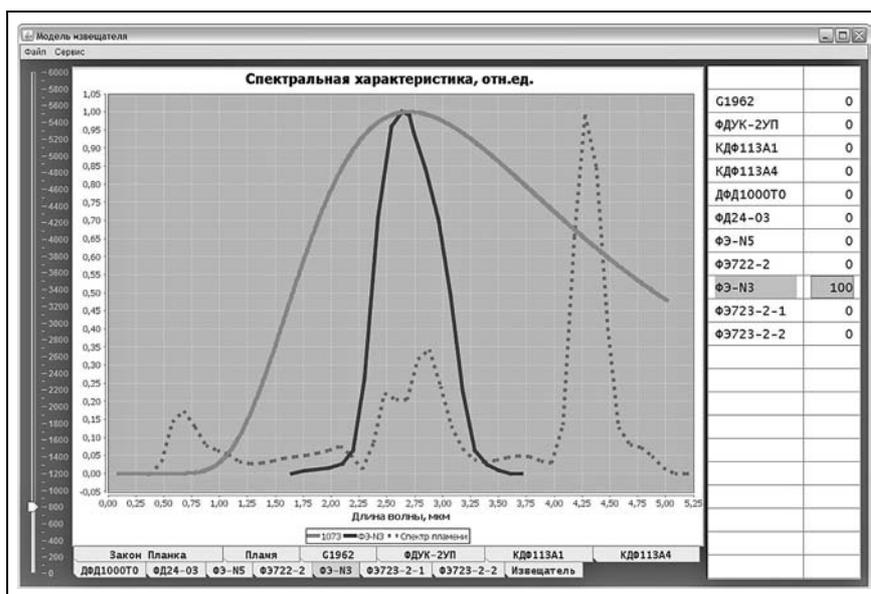


Рис. 6. Спектральная чувствительность фотоприемника ФЭ-НЗ

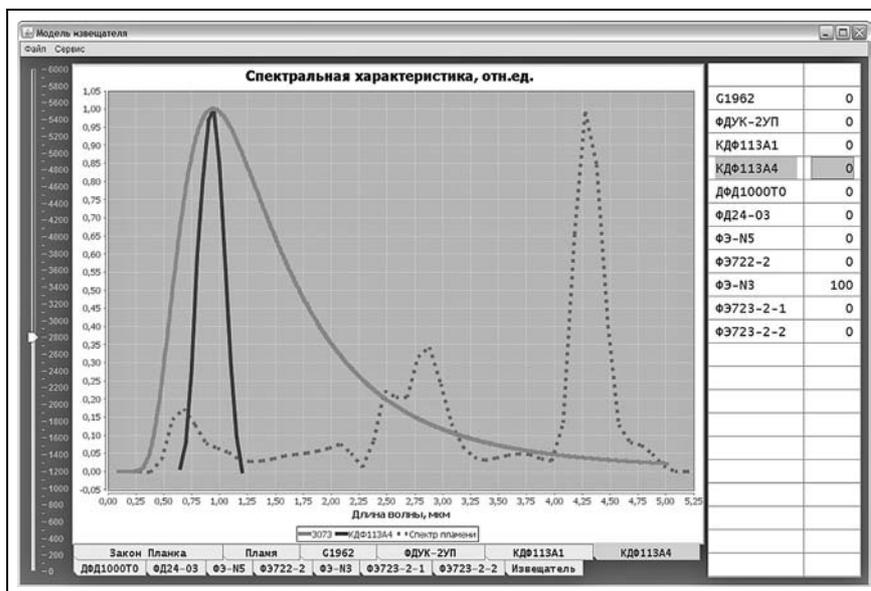


Рис. 7. Спектральная чувствительность фотоприемника КДФ113А4

В ходе исследований были проработаны четыре варианта, обеспечивающие полную помехозащищенность от теплового излучения помех. Первые два варианта представляют собой трехспектральные фотоприемники, отличающиеся одним из защитных каналов. Так, если роль канала, чувствительного к пламени, выполняет ФП ФЭ722-2, а

защиту от тепловых помех осуществляют ФП ФЭ723-2-1 и КДФ113А4, то при всех значениях температуры тепловой помехи сигнал извещателя отрицательный, а сигнал от пламени бунзеновской горелки — положительный. Таким образом обеспечивается защита от ложного срабатывания, вызванного тепловым излучением. Во вто-

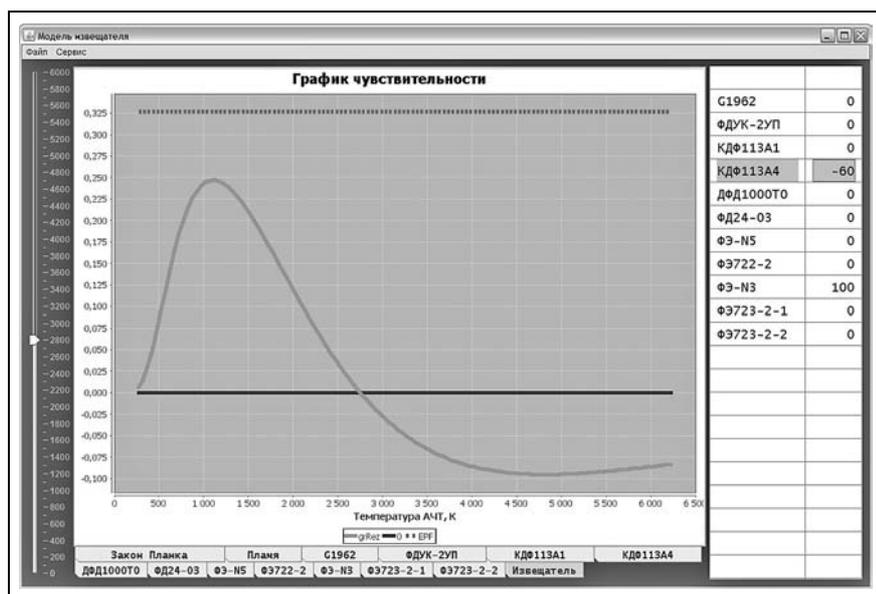


Рис. 8. Компенсация оптической помехи от лампы накаливания

ром варианте трехспектрально-го ИП защитный кремниевый ФП КДФ113А4 заменен на ФП ФЭ-Н5. График чувствительности в этом случае имеет более ровный характер и также обеспечивает необходимую защищенность от теплового излучения нагретых тел.

Кроме трехспектральных вариантов помехозащищенность можно обеспечить с помощью двухспектральных каналов. В первом двухспектральном варианте роль канала, чувствительного к пламени, выполняет ФЭ-Н3, защиту от тепловых помех обеспечивает ФЭ723-2-1. Во втором варианте двухспектрального ФП чувствительность к пламени также формирует ФЭ-Н3, а защиту от теплового излучения выполняет ФЭ723-2-2. Оба варианта обеспечивают помехозащищенность к тепловому излучению во всем диапазоне реальных температур.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование программного обеспечения “Модель изве-

щателя” показало, что существуют дополнительные возможности по совершенствованию фоточувствительных приемников ИП, реализующего метод спектральной селекции пламени. Применяя различные комбинации спектральных чувствительностей фотоприемников, изменяя количество спектральных каналов, можно добиться более полного учета особенностей спектров излучения пламени и оптических помех, обеспечить помехозащищенность ко всему тепловому излучению помех. Наличие нескольких путей совершенствования ФП позволяет выбрать оптимальный вариант по другим критериям и характеристикам, например, конструктивно-технологическим [9] или экономическим. Разработка новых типов помехозащищенных ФП полностью соответствует современным тенденциям научно-технических работ в области оптического детектирования пламени [10]. Дальнейшее развитие и использование ФП, реализующих метод спектраль-

ной селекции, позволит улучшить потребительские качества пожарных извещателей пламени, повысить их конкурентоспособность на российском и международном уровне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дийков Л. К., Медведев Ф. К., Шелехин Ю. Л. и др. Электронно-оптические извещатели пламени. ИК-приемники нового поколения // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. — 2000. — № 1. [Dijkov L. K., Medvedev F. K., Shelehin Ju. L. et al. Electron-optic flame event alerts. New generation infrared sensors // Electronics: Science. Technology. Business. — 2000. — № 1. (In Russian).].
2. Пат. РФ на промышленный образец № 53744, приоритет 18.06.2002. Извещатель пожарный пламени многодиапазонный / Л. К. Дийков, А. Л. Буркин, С. П., Варфоломеев и др. Заявитель ОАО “НИИ “Гириконд”. [RF patent for production prototype № 53744, priority 18.06.2002. Multiband fire flame event alert / L. K. Dijkov, A. L. Burkin, S. P. Varfolomeev et al. Applicant for a patent ОАО “RI “Girikond”, JSC, (In Russian).].
3. Пат. на изобретение № 2296370, приоритет 27.05.2005. Инфракрасный многодиапазонный детектор пламени и взрыва / Н. И. Горбунов, Л. К. Дийков, Ф. К. Медведев, С. П. Варфоломеев. [Patent for an invention № 2296370, priority 27.05.2005. Infrared multiband sensor of flame and explosion / N. I. Gorbunov, L. K. Dijkov, F. K. Medvedev, S. P. Varfolomeev (In Russian).].
4. ГОСТ Р 53325—2012 “Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний”. [GOST R 53325—2012. Fire engineering. Technical means of fire automatics. General technical requirements and testing methods. (In Russian).].
5. Хадсон Р. Инфракрасные системы. — М.: Мир, 1972. [Hudson R. Infrared systems. — Moscow: Mir, 1972. (In Russian).].
6. Водяник В. И. Взрывозащита технологического оборудования. — М.: Химия, 1991. [Vodjanik V. I. Explosion protection of technological equipment. — Moscow: Himija, 1991. (In Russian).].
7. Мешков В. В. Основы светотехники. — М.: Энергия, 1979. — 386 с.

- [Meshkov V. V. Foundations of lighting engineering. — Moscow: Jenergija, 1979. — 386 p. (In Russian).]
8. Горбунов Н. И., Дийков Л. К., Медведев Ф. К., Анисимова Н. П. Оптоэлектронные датчики пламени // Компоненты и технологии. — 2007. — № 1. [Gorbunov N. I., Dijkov L. K., Medvedev F. K., Anisimova N. P. Optoelectronic flame sensors // Components and technologies. — 2007. — № 1. (In Russian).]
9. Пат. на полезную модель, приоритет 23.07.2013. Инфракрасный многоспектральный приемник излучения / Н. Э. Тропина, А. Н. Тропин, Н. П. Анисимова, А. Е. Смирнов. [Patent for useful model, priority 23.07.2013. Multiband infrared radiation detector / N. Je. Tropina, A. N. Tropin, N. P. Anisimova, A. E. Smirnov. (In Russian).]
10. Медведев Ф. К., Смирнов А. Е., Сак А. В., Кулагов В. Б. Современная номенклатура разработок и производства приборов для систем пожарной безопасности на основе оптических ИК датчиков // Электронная промышленность. — 2014. — № 2. [Medvedev F. K., Smirnov A. E., Sak A. V., Kulagov V. B. Modern nomenclature for development and production of devices for fire security systems based on optical IR sensors // Electronics industry. — 2014. — № 2. (In Russian).]

УДК 551.46.07

А

## АВТОНОМНАЯ ДОННАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ<sup>1</sup>

### THE AUTONOMOUS SUB-BOTTOM STATION IS USED FOR LONG-TERM OBSERVATION OF WATER ENVIRONMENT PARAMETERS OF THE LAKE BAIKAL

**Ченский Дмитрий Александрович**

аспирант, инженер-электроник  
E-mail: skb@istu.edu

**Безрукин Андрей Геннадьевич**

инженер-исследователь  
E-mail: bezra2@mail.ru

**Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск**

**Аннотация:** Представлены результаты разработки и испытания автономной донной станции для долгосрочного мониторинга гидрофизических и гидрохимических параметров водной среды озера Байкал. Измеряемыми параметрами являются: температура, электропроводность, давление, содержание растворенного метана и кислорода. Продолжительность работы станции на одном комплекте источников питания не менее 6 месяцев.

**Ключевые слова:** мониторинг водной среды, автономная система, донная гидрофизическая станция.

**Chensky Dmitry A.**

Postgraduate, Electronics Engineer  
E-mail: skb@istu.edu

**Bezrukin Andrey G.**

Research Engineer  
E-mail: bezra2@mail.ru

**Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk city**

**Abstract:** The results of the sub-bottom profiler development and its testing for long-term monitoring of hydrophysical and hydrochemical parameters of water environment of lake Baikal are represented. The measured parameters are: temperature, electric conductivity, pressure, dissolved methane and oxygen contents. Operation time on a single set of power sources at least 6 months.

**Keywords:** monitoring of water environment, self-sufficient system, sub-bottom profiler.

#### ВВЕДЕНИЕ

Озеро Байкал уникально, одно из наиболее древних (более 25 млн лет) и глубоких

(1637 м) водоемов, оно является хранилищем более 20 % всех поверхностных пресных вод нашей планеты. В Байкале обитает более 1500 эндемичных водных организмов [1]. При растущей рекреационной нагрузке на озеро, увеличении числа судов, неконтролируемого сброса сточных вод необходим комплекс-

ный мониторинг параметров его уникальной экосистемы. Изменения гидрофизических и гидрохимических характеристик водной среды позволяют осуществлять контроль и прогнозировать состояние водоема, давать оценку и прогноз глобального изменения климата и антропогенного воздействия на

<sup>1</sup> Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Гос. задание № 1218 от 01.03.2014 “Разработка гидроакустического профилографа с линейной частотной модуляцией для поиска аквадных газовых гидратов”).