

УДК 614.842.435

Новые функциональные возможности пожарных извещателей для жилых и промышленных помещений

В.О. Китиков¹, Е.В. Тернов¹, А.В. Даниленко¹, Н.И. Мухуров², С.В. Денисюк²

¹Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси,
ул. Академика Купревича, 10, г. Минск 220141, Беларусь

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» Национальной академии наук Беларуси,
пр-т Независимости, 68, г. Минск 220072, Беларусь

Поступила 08.08.2019

Принята к печати 11.11.2019

Актуальность раннего обнаружения признаков пожара вполне очевидна, поскольку в результате принятия необходимых мер по эвакуации людей и материальных ценностей, обесточиванию электрооборудования и тушению пожара в момент начала возгорания либо пассивного тления можно полностью избежать человеческих жертв и сократить экономические потери до минимума.

Приведено графическое представление классификации пожарных извещателей в виде обобщённой схемы с использованием всех основных классификационных признаков, их достоинства и недостатки. Определены оптимальные области использования извещателей в зависимости от пожарной нагрузки. Показана эффективность применения комбинированных пожарных извещателей, оснащённых помимо традиционных дымовых и тепловых датчиков газовыми сенсорами, как комплексного подхода к организации осуществления контроля над охраняемыми объектами.

Приведены результаты разработки высокочувствительного двухзонного сенсора с чувствительными элементами на основе плёнок оксида железа для детектирования выделения взрывоопасных и отравляющих газов в начальной стадии тления до образования условий воспламенения. Применение газовых сенсоров, реагирующих на опасные газы в окружающей среде, существенно снижает риск гибели людей от отравления угарным газом.

Ключевые слова: системы пожарной безопасности, сигнализации, эксплуатации помещений, раннее обнаружение пожаров, газовые сенсоры.

DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-4-341-352

Адрес для переписки:

А.В. Даниленко
Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси,
ул. Академика Купревича, 10, к. 526,
Минск 220141, Беларусь,
e-mail: stray@newman.bas-net.by

Address for correspondence:

A.V. Danilenko
Institute of the Housing and Communal Services of the National
Academy of Sciences of Belarus,
Akademika Kuprevicha str., 10, Minsk 220141, Belarus
e-mail: stray@newman.bas-net.by

Для цитирования:

В.О. Китиков, Е.В. Тернов, А.В. Даниленко, Н.И. Мухуров,
С.В. Денисюк.
Новые функциональные возможности пожарных извещателей
для жилых и промышленных помещений.
Приборы и методы измерений.
2019. – Т. 10, № 4. – С. 341–352.
DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-4-341-352

For citation:

V.O. Kitikov, E.V. Ternov, A.V. Danilenko, N.I. Mukhurov,
S.V. Denisyuk.
[New Functional Possibilities of fire Detectors for Residential
and Industrial Rooms].
Devices and Methods of Measurements.
2019, vol. 10, no. 4, pp. 341–352 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-4-341-352

New Functional Possibilities of Fire Detectors for Residential and Industrial Rooms

V.O. Kitikov¹, E.V. Ternov¹, A.V. Danilenko¹, N.I. Mukhurov², S.V. Denisyuk²

¹*Institute of the Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus, Akademika Kuprevicha str., 10, Minsk 220141, Belarus*

²*State Scientific and Production Association «Optics, Optoelectronics and Laser Technology» of the National Academy of Sciences of Belarus, Nezavisimosty Ave., 68, Minsk 220072, Belarus*

Received 08.08.2019

Accepted for publication 11.11.2019

Abstract

The relevance of early detection of fire signs is quite obvious because due to the necessary measures for evacuating of people and material values, disconnecting the electrical equipment and extinguishing the fire at the time of the onset of fire or passive smoldering, human casualties can be completely avoided and economic losses can be minimized.

A graphical representation of fire detectors' the classification in the form of a generalized scheme using all the main classification features, their advantages and disadvantages is given. The optimal areas for the use of detectors depending on the fire load are determined. The effectiveness of combined fire detectors' use, equipped in addition to traditional smoke and heat sensors with gas sensors, as an integrated approach to the organization of control over protected objects is shown.

The results of development of highly sensitive two-zone sensor with sensitive elements based on iron oxide films for detecting the release of explosive and poisonous gases in the initial stage of decay before the formation of ignition conditions are presented. The use of gas sensors that respond to hazardous gases in the environment significantly reduces the risk of death due to carbon monoxide poisoning.

Keywords: fire safety systems, alarm systems, premises systems, early detection of fires, gas sensors.

DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-4-341-352

Адрес для переписки:

А.В. Даниленко
Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси,
ул. Академика Купревича, 10, к. 526,
Минск 220141, Беларусь,
e-mail: stray@newman.bas-net.by

Address for correspondence:

A.V. Danilenko
Institute of the Housing and Communal Services of the National
Academy of Sciences of Belarus,
Akademika Kuprevicha str., 10, Minsk 220141, Belarus
e-mail: stray@newman.bas-net.by

Для цитирования:

В.О. Китиков, Е.В. Тернов, А.В. Даниленко, Н.И. Мухуров,
С.В. Денисюк.
Новые функциональные возможности пожарных извещателей
для жилых и промышленных помещений.
Приборы и методы измерений.
2019. – Т. 10, № 4. – С. 341–352.
DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-4-341-352

For citation:

V.O. Kitikov, E.V. Ternov, A.V. Danilenko, N.I. Mukhurov,
S.V. Denisyuk.
[New Functional Possibilities of fire Detectors for Residential
and Industrial Rooms].
Devices and Methods of Measurements.
2019, vol. 10, no. 4, pp. 341–352 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-4-341-352

Введение

Развитие и совершенствование систем пожарной сигнализации на современном этапе связано с применением инновационных изделий микроэлектроники, позволяющих расширить функции и повысить эффективность современных систем обнаружения очагов возгорания с целью снижения риска нанесения ущерба здоровью людей и материальным ценностям [1, 2]. Традиционные противопожарные системы фактически достигли предела своих функциональных возможностей. Современные технологии позволяют создавать противопожарные системы принципиально новых качества, надёжности и безопасности, недостижимых в существующих системах, и фактически открывают новое направление в конструировании таких систем. Сравнительные испытания пожарных извещателей (ПИ) с использованием новых технологий во ВНИИПО МЧС России в мае 2015 года подтвердили их преимущество над классическими ПИ в части времени обнаружения пожаров при всех нормируемых типах возгораний ТП2–ТП5 [3]. В связи с этим перед разработчиками систем пожарной сигнализации стоит актуальная задача модернизации существующих и создания новых систем и средств, в частности, пожарных извещателей на основе датчиков раннего обнаружения признаков начальной стадии тления, позволяющих обеспечить своевременное принятие мер по эвакуации людей и ликвидации возможного очага возгорания, а также снизить вероятность ложных срабатываний [4]. В целях создания условий конкурентоспособности новых датчиков на рынке систем безопасности требуется оценить перспективы их применения в существующих системах пожарной сигнализации. Это в свою очередь требует разработки системы классификации первичных устройств обнаружения – пожарных извещателей, в которые предполагается встраивать датчики раннего обнаружения признаков выделения в окружающую среду опасных для человека газовых компонентов и потенциальных очагов возможного пожара.

Классификационные признаки пожарных извещателей

Применяемые в современных системах пожарной сигнализации пожарные извещатели

можно классифицировать по следующим основным признакам¹:

- 1) способу приведения в действие;
- 2) возможности многократного использования;
- 3) возможности определения местоположения извещателя;
- 4) способу передачи сигнала;
- 5) виду контролируемого признака пожара, конфигурации измерительной зоны и принципу действия;
- 6) характеру реакции на контролируемый признак пожара.

В рамках указанной выше классификации пожарных извещателей существует более детальная их классификация, представленная на рисунке 1.

По возможности определения местоположения ПИ разделяются на неадресные и адресные. Неадресные ПИ не содержат модулей со встроенным кодом местоположения и при срабатывании извещают только о факте возникновения пожара, без указания на расположение очага возгорания. Адресные ПИ совместно с сигналом о возникновении пожара передают на приёмно-контрольный прибор уникальный адресный код, по которому система пожаробнаружения автоматически без предварительной настройки определяет местонахождение очага возгорания, что является исходными данными для организации эвакуации и приведения в действие средств пожаротушения.

По способу передачи сигнала ПИ разделяются на четыре основных вида:

- включённые в шлейф, извещатели передающие сигнал посредством пожарного шлейфа. При этом электропитание встраиваемых в шлейф ПИ осуществляется от сигнальных проводов: у двухпроводных по контролируемому шлейфу с задействованием одной пары проводов, у четырёхпроводных по дополнительной паре проводов;
- радиоканальные ПИ, как следует из названия, передают сигнал при помощи встроенного радиомодуля;
- оптоволоконные ПИ – тип извещателей, которые задействуют для передачи сигнала волоконно-оптические линии связи;
- автономные ПИ – приборы обнаружения со встроенным модулем оповещения, при срабатывании издают интенсивный продолжительный звуковой сигнал. Не требуют подключения к пульту.

¹Система стандартов пожарной безопасности. Системы пожарной сигнализации. Общие требования. СТБ 11.16.01-98. – Введ. 01.10.98. – Мн. БелГИСС – 2011. – 12 с.

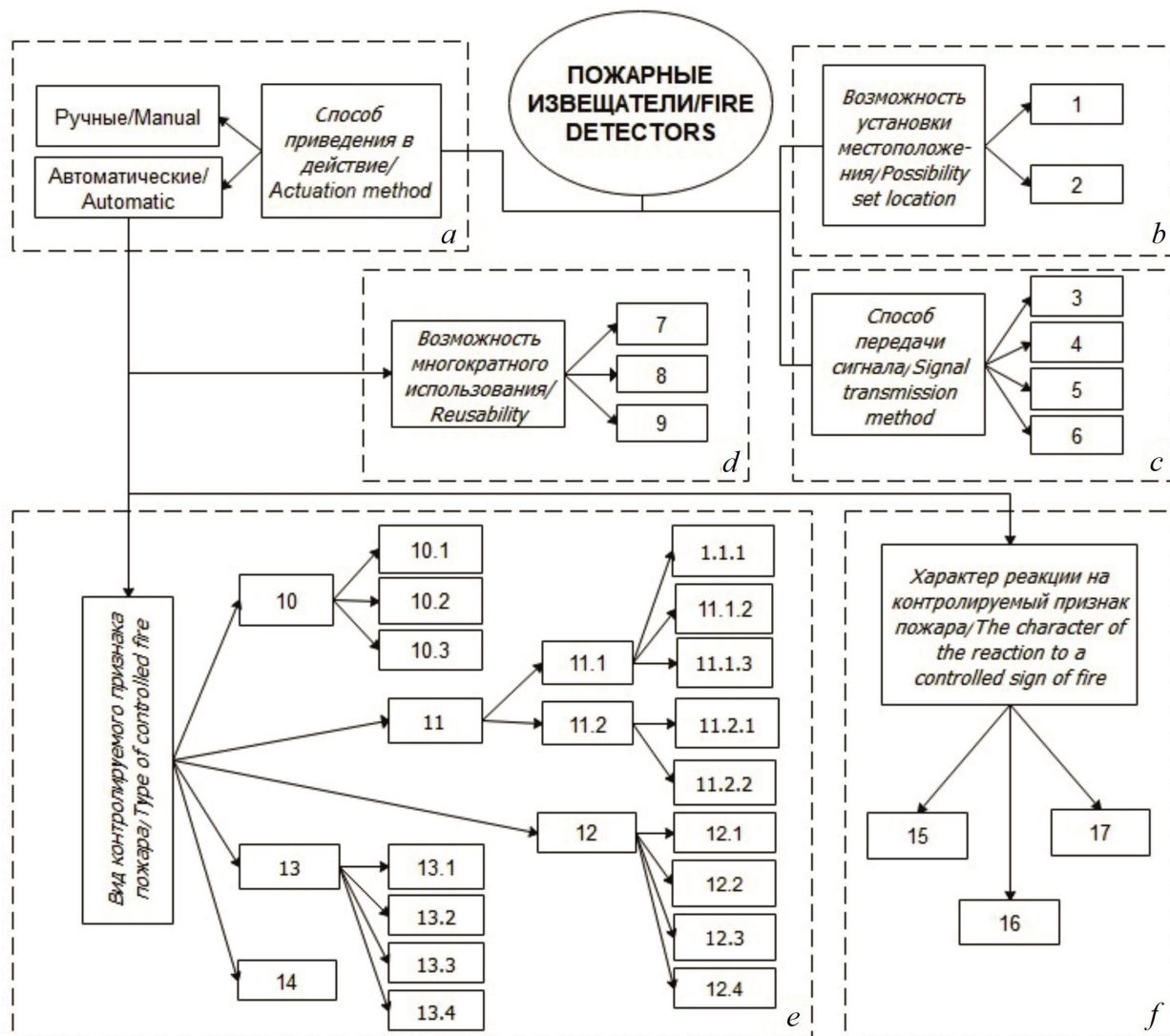


Рисунок 1 – Обобщённая схема классификации пожарных извещателей: *a* – по способу приведения в действие: ручные; автоматические; *b* – по возможности установки местоположения: 1 – адресные, 2 – неадресные; *c* – по способу передачи сигнала: 3 – включенные в шлейф, 4 – радиоканальные, 5 – оптоволоконные, 6 – автономные; *d* – по возможности многократного использования: 7 – одноразовые, 8 – многоразовые, 9 – с заменяемым активным элементом; *e* – по виду контролируемого признака пожара: 10 – тепловые: 10.1 – точечные, 10.2 – многоточечные, 10.3 – линейные; 11 – дымовые: 11.1 – оптические: 11.1.1 – точечные, 11.1.2 – линейные, 11.1.3 – аспирационные; 11.2 – ионизационные: 11.2.1 – радиоизотопные, 11.2.2 – электроиндукционные; 12 – пламени: 12.1 – ультрафиолетовые, 12.2 – инфракрасные, 12.3 – видимого спектра, 12.4 – многодиапазонные; 13 – газовые: 13.1 – полупроводниковые, 13.2 – электрохимические, 13.3 – термохимические, 13.4 – металлооксидные; 14 – комбинированные; *f* – по характеру реакции на контролируемый признак пожара: 15 – максимальные, 16 – дифференциальные, 17 – максимально-дифференциальные

Figure 1 – Generalized classification scheme of fire detectors: *a* – according to the method of activation: manual, automatic; *b* – possibility of set location: 1 – addressed, 2 – non-addressed; *c* – by the method of signal transmission: 3 – included in the loop, 4 – radio channel, 5 – fiber, 6 – autonomous; *d* – possibility of multiple use: 7 – disposable; 8 – reusable; 9 – with replaceable active element; *e* – by type of controlled fire sign: 10 – thermal: 10.1 – point, 10.2 – multipoint, 10.3 – linear; 11 – smoke: 11.1 – optical: 11.1.1 – point, 11.1.2 – linear, 11.1.3 – aspiration; 11.2 – ionization; 11.2.1 – radioisotope, 11.2.2 – electric induction; 12 – flame: 12.1 – ultraviolet, 12.2 – infrared, 12.3 – in visible spectrum, 12.4 – multirange; 13 – gas: 13.1 – semiconductor, 13.2 – electrochemical, 13.3 – thermochemical, 13.4 – metal oxide; 14 – combined; *f* – by the nature of reaction to the controlled fire sign: 15 – maximal, 16 – differential, 17 – maximal-differential

Все виды ПИ, кроме включённых в шлейф, питаются от автономного сменного элемента, не будучи связанными с сигнальными цепями.

По виду контролируемого признака пожара ПИ разделяются в основном на тепловые, дымовые, пламени и газовые [5–7]. Относятся к автоматическим ПИ. Дополнительно классифицируются по конфигурации измерительной зоны и принципу действия.

По характеру реакции на контролируемый признак пожара ПИ разделяются на максимальные, дифференциальные и максимально-дифференциальные:

– максимальные – извещатели, формирующие извещение о пожаре при превышении установленного порогового значения контролируемого параметра;

– дифференциальные – извещатели, формирующие извещение о пожаре при превышении

определённого значения скорости изменения величины контролируемого параметра;

– максимально-дифференциальные – извещатели, включающие оба канала максимальный и дифференциальный, включённые по логической схеме «ИЛИ».

Наиболее ранними по времени появления и массово используемыми в системах пожарной сигнализации являются тепловые ПИ. Реагируют на избыток теплоты в подпотолочном пространстве охраняемого помещения. Нечувствительны к влажности, запыленности и загазованности воздуха, а также к любым видам ионизирующих и электромагнитных излучений; отличаются невысокой стоимостью. Типовой тепловой ПИ² реагирует на повышение температуры в диапазоне значений от +54 до +70 °С. По конфигурации измерительной зоны ПИ подразделяются на точечные, многоточечные и линейные (таблица 1).

Таблица 1 / Table 1

Классификация пожарных извещателей по конфигурации измерительной зоны

Classification of fire detectors on the base of the measuring zone configuration

Точечные Point	Многоточечные Multipoint	Линейные Linear
Контроль признаков пожара в зоне, ограниченной радиусом действия извещателя	Контроль признаков пожара в нескольких компактных зонах, распределенных в пространстве	Контроль признаков пожара в любом месте на протяжении сигнального кабеля
Fire sign monitoring in the zone limited by the detector range	Fire sign monitoring in several compact zones distributed in space	Fire sign monitoring anywhere along the signal cable

Дымовые ПИ реагируют на присутствие копоти и дыма в воздухе охраняемого помещения. Благодаря сокращенному по сравнению с тепловыми ПИ времени обнаружения очагов возгорания позволяют повысить безопасность эвакуации людей из здания, а также ускорить срабатывание стационарных систем пожаротушения. Преимущественно применяются в жилых и общественных помещениях с преобладанием в интерьере органических материалов, выделяющих при горении большое количество дыма. По принципу действия делятся на оптические и ионизационные (таблица 2).

Оптические дымовые ПИ содержат оптический датчик, реагирующий на изменение прозрачности воздуха в охраняемом помещении вследствие присутствия продуктов горения и тления. По конфигурации измерительной зоны делятся

на точечные, линейные (таблица 1) и аспирационные. Указанные типы оптических дымовых ПИ отличаются следующими особенностями взаимного расположения излучателя и фотоприёмника, входящих в состав оптического датчика:

– точечные – излучатель и фотоприёмник компактно размещаются в корпусе измерительной камеры;

– линейные – излучатель и фотоприёмник взаимно удалены в пределах измерительной зоны либо объединены в одном корпусе с использованием отражающего элемента, что позволяет охватить измерительную зону протяжённостью свыше 100 м;

²Паспорт БИРЮ 01.363.00.000-03 ПС, Минск 2011. ОАО «Завод Спецавтоматика». Извещатель пожарный тепловой максимальный ИП109-05-А2М

– аспирационные – подобно точечным излучателем и фотоприёмником компактно размещаются в корпусе измерительной камеры, воздух в которую посредством трубопроводов принудительно подаётся из одной или нескольких точек охраняемой зоны; это позволяет охватить измерительную зону протяжённостью в сотни метров и при использовании фильтров воздуха обеспечить контроль признаков возникновения пожара в запыленной среде.

Таблица 2 / Table 2

Классификация дымовых пожарных извещателей по принципу действия

Classification of smoke detectors on the principle of operation

Оптические Optical	Ионизационные Ionization
Реагируют на продукты горения, способные воздействовать на поглощающую или рассеивающую способность излучения в инфракрасном, ультрафиолетовом или оптическом диапазоне Respond to combustion products capable of affecting the absorbing or scattering ability of radiation in the infrared, ultraviolet or optical range	Реагируют на изменения ионизационного тока или объемного электрического заряда воздуха внутри измерительной камеры под воздействием продуктов горения Respond to changes in the ionization current or volumetric electric charge of air inside the measuring chamber under the influence of combustion products

Ионизационные дымовые ПИ в свою очередь бывают радиоизотопные и электроиндукционные. Радиоизотопные реагируют на уменьшение ионизационного тока, образуемого специальным низкорadioактивным веществом внутри измерительной камеры, вызванное наличием в воздухе дыма, особенно чёрного. Электроиндукционные реагируют на концентрацию заряженных частиц в воздухе контролируемого помещения, принудительно нагнетаемом в измерительную камеру посредством воздуховода.

ПИ пламени по области спектра электромагнитного излучения, воспринимаемого чувствительным элементом, разделяются на инфракрасные, видимого спектра, ультрафиолетовые и многодиапазонные. Датчики ПИ пламени срабатывают на появление открытого огня. Предназначены для обнаружения признаков возгорания на производственных и складских объектах, связанных с добычей, транспортировкой, переработкой и хранением материалов и сырья, горение которых сопровождается появлением открытого огня без стадии тления. В отличие от тепловых и дымовых ПИ могут применяться как в помещениях, так и под открытым небом.

Газовые ПИ реагируют на изменения химического состава воздуха под воздействием пожара – концентрации одного или нескольких основных газов (таблица 3).

Таблица 3 / Table 3

Основные виды газов, выделяющихся при горении

Main types of gases released during combustion

Наименование газа Gas name	Химическая формула Chemical formula	Причина выделения Reason for allocation
Угарный газ Carbon monoxide	CO	Термическое разложение (пиролиз) органических материалов при температуре 750–800 °C Thermal decomposition (pyrolysis) of organic materials at a temperature of 750–800 °C
Водород Hydrogen	H	
Метан Methane	CH ₄	
Углекислый газ Carbon dioxide	CO ₂	Переход пожара из тления в пламенную стадию The transition of fire from decay to the flame stage
Летучие ароматические углеводороды Volatile aromatic hydrocarbons	C _x H _y	Горение нефти, газа и продуктов их переработки Combustion of oil, gas and products of their processing

По типу чувствительного элемента (сенсора) газовые ПИ преимущественно разделяются на полупроводниковые и электрохимические. Действие полупроводниковых сенсоров основано на изменении проводимости полупроводникового чувствительного слоя. Характеризуются малыми размерами, высокой чувствительностью и надёжностью, низкой стоимостью, имеют достаточно большой срок службы, однако вместе

с тем отличаются повышенным энергопотреблением и низкой селективностью. Действие электрохимических газовых ПИ основано на отличиях процессов электрохимического окисления пожарных газов на рабочем электроде электролитической ячейки, характеризующихся электрохимическими процессами в объёме и на поверхности. Основные параметры электрохимических сенсоров приведены в таблице 4.

Таблица 4 / Table 4

Сравнительные качественные характеристики электрохимических сенсоров Comparative quality characteristics of electrochemical sensors

Параметр Parameter	Характер протекания окислительной реакции The nature of the oxidative reaction	
	Электрохимия объёма Electrochemistry of volume	Электрохимия поверхности Surface electrochemistry
Вид рабочей характеристики Type of performance	Линейная Linear	Логарифмическая Logarithmic
Время отклика и восстановления Response and Recovery Time	Быстрое Fast	Очень быстрое Very fast
Селективность Selectivity	Хорошая Good	Слабая Weak
Влияние влаги Moisture effect	Отсутствует Missing	Незначительное Insignificant
Механическая стойкость Mechanical resistance	Хорошая Good	Хорошая Good
Потребляемая мощность Power consumption	Отсутствует Missing	Незначительная Insignificant

Как видно из таблицы 4, объёмная электрохимическая окислительная реакция (на электродах, помещенных в электролит) по сравнению с поверхностной (на поверхности материала, чаще всего металлооксидного полупроводника) обеспечивает лучшие рабочие характеристики сенсора газового ПИ. Вместе с тем металлооксидные сенсоры за счёт отсутствия непрекращающейся химической реакции имеют более продолжительные сроки хранения и службы, способны работать при более высоких температурах.

Сенсоры газовых ПИ реагируют на предельно малую концентрацию пожарных газов в воздухе на начальном этапе возможного возникновения пожара – тлении [8–10]. Потенциально они способны предупредить возможный пожар до появления в окружающей среде дыма и пламени. Тем не менее, с учетом «не идеальности» их рабочих характеристик, низкой селективности, повышенной возможности «ложных» срабатываний, целесообразно

применять газовые ПИ совместно с проверенными, сертифицированными дымовыми и тепловыми. Ввиду того, что газовые сенсоры способны избирательно реагировать на отдельные газы, присутствие которых в воздушной среде контролируемой зоны однозначно указывает на возможности повышения концентрации отравляющих и взрывоопасных газов до опасных для человека пределов и возникновения очага пожара, их разработка представляется перспективной и актуальной.

Современный технический уровень газовых пожарных извещателей

В настоящее время полупроводниковые газовые сенсоры широко используются для анализа газов [11, 12]. Изменение электросопротивления полупроводникового газочувствительного слоя при химической адсорбции на его поверхности газов позволяет эффективно использовать

полупроводниковые газовые сенсоры в приборах противопожарной сигнализации, а также в сигнализаторах опасных для человека концентраций токсичных газов.

Водород является основным компонентом выделяемых газов на стадии тления в результате пиролиза материалов, используемых в строительстве, таких как древесина, текстиль, синтетические материалы [13]. На начальной стадии возможного возникновения пожара, в процессе тления концентрация водорода составляет 10–20 ppm. В дальнейшем происходит нарастание содержания ароматических углеводородов на фоне присутствия монооксида углерода (СО) в пределах 20–80 ppm.

Экспериментальные результаты показали, что порог обнаружения системы раннего предупреждения повышения концентрации большинства газов, в том числе взрывоопасных (водорода) и отравляющих (угарного газа), до опасных для человека пределов и возможности возникновения очага пожара, составляют не более 20 ppm в атмосферном воздухе при нормальных условиях. При этом быстроедействие такой системы не должно быть более 10 с. Для разработок эффективных пожарных газовых анализаторов эти условия должны рассматриваться как основополагающие [14]. Принципиальными представляются и такие характеристики, как высокие селективность, чувствительность, быстроедействие и относительная дешевизна полупроводниковых газовых датчиков. В совокупности такие достоинства позволяют значительно расширить возможности стандартных пожарных извещателей как для жилых, так и промышленных помещений.

Для обеспечения требуемого быстрогодействия в несколько секунд за счет физико-химических процессов на поверхности чувствительного слоя сенсор периодически разогревают до температуры 450–500 °С, что активирует его поверхность [14]. В качестве чувствительных полупроводниковых слоёв могут быть использованы плёнки оксидов металлов (SnO_2 , ZnO и др., легированных Pt, Pd и др.) с развитой удельной поверхностью. Нагреватели выполняются в виде тонких полосок резистивного слоя инертных материалов (Pt, Au и др.), электрически изолированных от полупроводникового чувствительного слоя. В качестве подложки используется поликристаллический оксид алюминия, на неё с двух сторон наносятся нагреватель и металлооксид-

ный газочувствительный слой. Чувствительный элемент помещается в корпус, защищённый проницаемой для газа мембраной, удовлетворяющей требованиям взрывопожаробезопасности.

Сенсоры с такими материалами чувствительных слоёв могут предназначаться для определения концентраций горючих газов (метан, пропан, бутан, водород и др.) в воздухе в интервале концентраций от 0,001 % до единиц процентов, а также токсичных газов (СО, арсин, фосфин, сероводород и др.) при концентрациях на уровне ПДК. Сенсоры могут применяться в сигнализаторах утечки газов и системах противопожарной сигнализации [15].

Более высокая точность измерения концентрации монооксида углерода СО – угарного газа, представляющего невидимую опасность для жизни человека, достигнута в электрохимических сенсорах, использующих платиновый элемент для усиления реакции между молекулами СО и кислорода в окружающем воздухе. Указанные сенсоры имеют линейную характеристику и низкий ток потребления [16]. По характеру реакции на контролируемый признак пожара электрохимические сенсоры являются дифференциальными (рисунок 1) и предназначены для качественного и количественного анализа химических соединений в жидких и газообразных средах, что в совокупности позволяет отследить динамику изменения микроклимата охраняемого объекта [17].

По своим механическим характеристикам сенсоры газовых ПИ, в частности СО, допускают их размещение в существующих корпусах комбинированных ПИ, объединяющих в себе тепловой и дымовой датчик (рисунок 2). Приведённый на рисунке автоматический пожарный извещатель *Bosch Sicherheitssysteme GmbH* серии 420 оснащён оптическим, тепловым и химическим сенсорами и собственным микропроцессором³. Использование комбинации трёх различных каналов обнаружения с задействованием технологии интеллектуальной обработки сигнала обеспечивает высокий уровень обнаружения возгорания. Применяемые в извещателях серии 420 сенсоры отличаются следующими особенностями.

³Автоматические пожарные извещатели серии 420. Режим доступа: <https://docplayer.ru/44085850-Avtomaticheskie-pozharnye-izveshchateli-serii-420-intellektualnoe-obnaruzhenie-prevoshodnaya-zashchita.html>. – Дата доступа: 19.09.2018

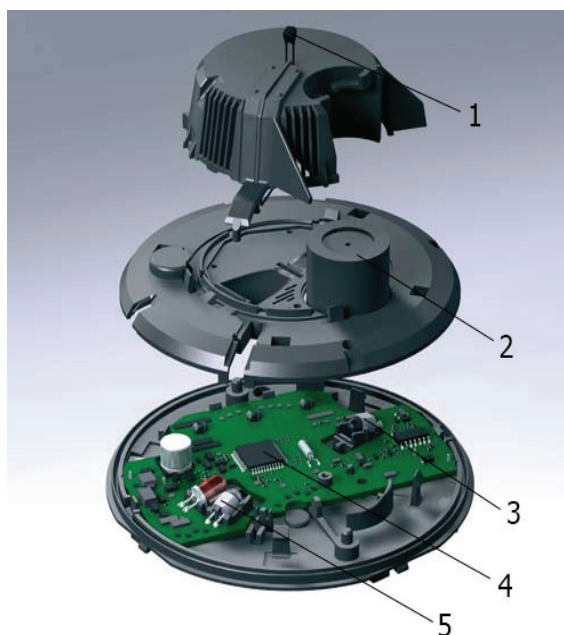


Рисунок 2 – Общий вид одного из вариантов комбинированного пожарного извещателя: 1 – тепловой сенсор; 2 – химический сенсор; 3, 4 – фотодиоды; 5 – светодиоды

Figure 2 – General view of the combined fire detector: 1 – thermal sensor; 2 – chemical sensor; 3, 4 – photodiodes; 5 – light-emitting diodes

Тепловой сенсор. Реагирует на превышение порога максимальной температуры срабатывания в + 54 °С или в + 69 °С (тепловой максимальный) или на её рост на определённое количество градусов за определённый период времени (тепловой дифференциальный).

Оптический сенсор. Реагирует на попадание в измерительную камеру частиц дыма, которые рассеивают свет, исходящий от светодиода. В работе оптического сенсора применяется принцип измерения рассеянного света. В двойном оптическом сенсоре по технологии *Dual Ray* используются два светодиода, излучающих свет разной длины волны – инфракрасный и синий – для определения плотности дыма и размера частиц путём сравнения интенсивности рассеянного света, благодаря чему обеспечивается надёжное и быстрое обнаружение даже малой концентрации дыма (обнаружение ТП1 и ТП9).

Химический сенсор. Обнаруживает монооксид углерода (CO), водород (H₂) и монооксид азота (NO). Значение сигнала сенсора пропорционально концентрации газа. Данные, полученные с химического сенсора, предоставляют дополни-

тельную информацию для эффективного слежения и предотвращения негативных последствий внешних воздействий. Срок службы химического сенсора ограничен и составляет 6 лет работы, по истечении этого срока он автоматически отключается. После этого извещатель продолжает работу как комбинированный извещатель с двойными оптическим и тепловым сенсорами.

Благодаря объединению сенсоров разных типов в одном комбинированном извещателе появляется возможность его использования в местах, где выполняемые работы могут являться источником низких концентраций относительно прозрачных дыма, пара или пыли, а также в местах, где разрешено курение. Не представляет большой технической проблемы встраивание газового сенсора также и в корпус автономного дымового пожарного извещателя для массового применения в индивидуальном жилом секторе, где вероятность появления угарного и других опасных газов достаточно велика.

В отличие от полупроводниковых электрохимические сенсоры газовых ПИ не требуют нагрева и имеют низкий ток потребления. Это позволяет подключать их к адресно-аналоговым ПИ, питаемым по шлейфу, а при необходимости использовать в составе автономных ПИ либо в ПИ с радиоканальной или оптоволоконной передачей данных (рисунок 1). Для сравнения, полупроводниковые металлооксидные газовые сенсоры на основе диоксида олова SnO₂ или диоксида рутения RuO₂ требуют нагрева чувствительного элемента до температуры 250 °С. При этом для снижения тока потребления используется импульсный нагрев с частотой 1 Гц, а величина потребляемого тока в дежурном режиме составляет десятки миллиампер. Это налагает ограничение, с одной стороны, на число полупроводниковых газовых сенсоров в системе, а с другой стороны – на возможности применения полупроводниковых газовых сенсоров во взрывоопасных зонах. Срок службы электрохимических газовых сенсоров, ранее составлявший 2–3 года, в настоящее время увеличен до 5, а у отдельных производителей до 10 лет.

В настоящее время ведётся разработка высокочувствительного двухзонного сенсора для детектирования выделения взрывоопасных и отравляющих газов в начальной стадии тления до образования условий воспламенения дополнительно к существующим системам пожарной

безопасности. Идея конструкции такого сенсора предложена в [17] и реализована на макетном образце, изображенном на рисунке 3. Газочувствительные свойства сенсоров с чувствительными элементами на основе пленок оксида железа изучены в интервале температур от 20 до 500 °С в поверочных газовых смесях, содержащих водород и метан в концентрациях 0,8 и 1,0 об. %, соответственно, что значительно ниже взрывоопасных: 4,0 об. % для H_2 и 4,4 об. % для CH_4 [18]. Определены оптимальные рабочие температуры для детектирования метана (190 °С) и водорода (60 °С). Показана перспективность конструктивного варианта построения газовых сенсоров на микропрофилированных подложках анодного оксида алюминия, содержащих несколько локальных зон с различными рабочими температурами и тонкопленочными чувствительными элементами из оксидов железа. При использовании других соединений для чувствительных слоев возможно детектирование угарного газа (СО), озона O_3 и др. Результаты работы могут быть использованы при создании высокочувствительных газовых сенсоров для систем ранней диагностики выделения взрывоопасных и отравляющих газов.

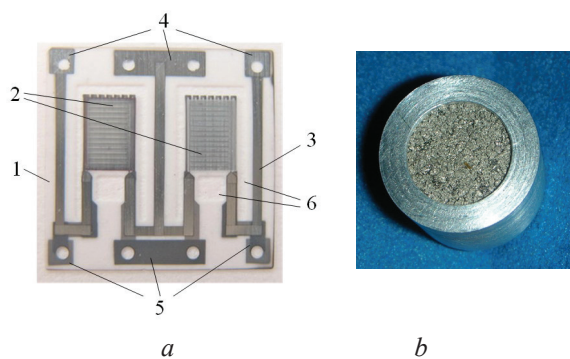


Рисунок 3 – Фотографии образца двухзонного сенсора (а) и корпуса сенсора (b): 1 – диэлектрическая подложка из Al_2O_3 ; 2 – рабочие области сенсора с металлооксидными чувствительными элементами, системами информационных электродов и нагревателями; 3 – тонкопленочные токопроводящие дорожки из сплава нихром; 4 – контактные площадки системы информационных электродов; 5 – контактные площадки нагревателей; 6 – сквозные щели для отделения рабочих областей от массива подложки

Figure 3 – Photos of the sample of the dual-zone sensor (a) and sensor housing (b): 1 – dielectric substrate from Al_2O_3 ; 2 – working area of the sensor with metal oxide-sensitive elements, information electrode systems and heaters; 3 – thin-film conductive paths from nichrome; 4 – contact pads of information electrode systems; 5 – contact pads of heaters; 6 – touch panel mounted on the housing leg

Ряд экспериментов, проведенных в лабораторных условиях, показал значительные преимущества газовых ПИ по сравнению с ПИ других типов, в первую очередь – раннее время обнаружения возгорания. Даже при отсутствии принудительного воздухообмена газовые ПИ, реагирующие на монооксид углерода СО, будучи установлены не только на потолке, но и на стенах испытательного помещения, срабатывали значительно раньше дымовых ПИ [19]. Чувствительность указанных газовых сенсоров, применяемых в гаражах и на закрытых автомобильных стоянках, может регулироваться в пределах от 0 до 300 $см^3/м^3$ (ppm) с точностью 1 ppm. Высота их установки при размещении на стенах составляет 1 м над уровнем пола, на потолке – 2 м [20]. Полупроводниковые газовые сенсоры имеют ряд преимуществ: длительный период работы без обслуживания; небольшие габаритные размеры; высокое быстродействие; чувствительностью к малым концентрациям измеряемых газов; высокая технологичность изготовления; малые габаритные размеры; невысокая стоимость. Основным недостатком является низкая селективность – избирательность к конкретному газу, которая может быть увеличена путём дифференциации чувствительности с использованием матриц сенсоров, чувствительный слой которых обладает различными параметрами и свойствами.

Заключение

Приведено графическое представление классификации пожарных извещателей в виде обобщённой схемы с использованием всех основных классификационных признаков. Выявлены достоинства и недостатки применяемых в настоящее время пожарных извещателей различных типов, определены оптимальные области их использования в зависимости от пожарной нагрузки. Показана эффективность применения комбинированных пожарных извещателей, оснащённых помимо традиционных дымовых и тепловых датчиков газовыми сенсорами, как комплексного подхода к организации осуществления контроля над охраняемыми объектами.

Приведены результаты разработки высокочувствительного двухзонного сенсора с чувствительными элементами на основе пленок оксида железа для детектирования выделения взрывоопасных и отравляющих газов в начальной стадии тления до образования условий воспламенения.

Сформулированы условия модернизации эксплуатируемых пожарно-охранных систем и повышения их технического уровня. Обоснована необходимость разработки и внедрения современных отечественных газовых сенсоров и их контроллеров для включения в существующие системы пожарной безопасности с целью повышения их функциональной эффективности и надёжности.

Список использованных источников

1. Членов, А.Н. Новые методы и технические средства обнаружения пожара: монография / А.Н. Членов [и др.]. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 175 с.
2. Федоров, А.В. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара / А.В. Федоров [и др.]. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 158 с.
3. Саутин, И. Концепция построения безопасной противопожарной автоматики / И. Саутин // Алгоритм безопасности. – 2015. – № 4. – С. 68–70.
4. Зайцев, А.В. Сверххранное обнаружение пожара: мифы, с которыми приходится жить / А.В. Зайцев // Алгоритм безопасности. – 2017. – № 1. – С. 54–58.
5. National Fire Alarm Code. Handbook / Fourth edition. Edited by Lee F. Richardson, Wayne D. Moore, P.E., FSFPE. – National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2004. – 680 p.
6. Bukowski, R.W. Performance of Home Smoke Alarms. Analysis of the Response of Several Available Technologies in Residential Fire Settings/R.W. Bukowski [et al.] // NIST Technical Note 1455-1. – 2008. – 265 p.
7. Дробыш, Д.В. Проблемы эффективного применения автономных пожарных извещателей / Д.В. Дробыш, Д.Л. Есипович, А.А. Антошин // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2010. – № 2(28). – С. 55–64.
8. Козубовский, В.Р. Сравнительный анализ датчиков газовых извещателей для раннего обнаружения пожара / В.Р. Козубовский, И.З. Мисевич, М.М. Иванчук // Bezpieczenstwo i technika pozarnicza. – 2015. – Т. 40, № 4. – С. 107–122. DOI: 10.12845/bitp.40.4.2015.8
9. Газовые пожарные извещатели: типы, разновидности, плюсы и минусы [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/gazovyye-pozharnyye-izveshateli-tipyi-raznovidnosti-plyusy-i-minusyi>. – Дата доступа: 12.09.2018.
10. Полещук, Р. Комбинированные пожарные извещатели с газовым каналом обнаружения [Электронный ресурс] / Р. Полещук // Режим доступа: <http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=681&uid2=784&uid3=796>. – Дата доступа: 19.09.2018.

11. Антошин, А.А. Методика исследования пространственного распределения параметров среды и продуктов горения в жилом помещении и смежных с ним пространствах / А.А. Антошин, С.А. Волков // Приборы и методы измерений. – 2018. – Т. 9, № 4. – С. 347–358.

DOI: 10.21122/2220-9506-2018-9-4-347–358

12. Здор, В. Некоторые нюансы применения газовых пожарных извещателей в системах пожарной автоматики. Газовые извещатели в ГОСТ Р 53325-2012 / В. Здор // Алгоритм безопасности. – 2013. – № 3. – С. 24–27.

13. Гаман, В.И. Физика полупроводниковых газовых сенсоров: монография. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 112 с.

14. Аверин, И.А. Физические основы полупроводниковых газовых сенсоров: монография / И.А. Аверин // М-во образ. и науки РФ, ФГБОУВПО «Пензенский гос. ун-т» (ПГУ). – Пенза: Изд-во ПГУ, 2015. – 188 с.

15. Saniz, R. First-principles study of CO and OH adsorption on In-doped ZnO surfaces / R. Saniz [et al.] // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2019. – Vol. 132. – P. 172–181. DOI: 10.1016/j.jpss.2019.04.023

16. Буслов, В. Полупроводниковые чувствительные элементы для датчиков газов и систем сигнализации / В. Буслов [и др.] // Современная электроника. – 2008. – № 7. – С. 22–27.

17. Мухуров, Н.И. Адсорбционно-резистивный газовый сенсор / Пат. РБ №10187 // Н.И. Мухуров, С.В. Денисюк, О.Н. Куданович. – Оpubл. АБ № 3. 30.06.2014. – 217 с.

18. Денисюк, С.В. Двухзонные газовые сенсоры на подложках Al₂O₃ с тонкопленочными чувствительными элементами из оксида железа / С.В. Денисюк, Н.И. Мухуров, О.Н. Куданович // Нано- и микросистемная техника. – 2018. – № 11. – С. 676–688.

19. Неплохов, И.Г. Пожарные извещатели с газовым каналом на российском рынке / И.Г. Неплохов // Системы безопасности. – 2009. – № 5. – С. 102–106.

20. Семенов, В. Интеллектуальный детектор газа / В. Семенов // Современная электроника. – 2007. – № 9. – С. 16–21.

References

1. Chlenov A.N., Fomin V.I., Bucynskaya T.A., Demekhin F.V. *Novye metody i tekhnicheskie sredstva obnaruzheniya pozhara: monografiya* [New methods and technical means of fire detection]. Moscow, Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, 2007, 175 p.
2. Fedorov A.V., Chlenov A.N., Luk'yanchenko A.A., Bucynskaya T.A., Demyohin F.V. *Sistemy i*

tekhnicheskie sredstva rannego obnaruzheniya pozhara: monografiya [Early fire detection systems and hardware]. Moscow, Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, 2009, 158 p.

3. Sautin I. [The concept of building safe fire automation]. *Algoritm bezopasnosti* [The security algorithm], 2015, no. 4, pp. 68–70 (in Russian).

4. Zaytsev A.V. [Early fire detection: myths to live with]. *Algoritm bezopasnosti* [The security algorithm], 2017, no. 1, pp. 54–58 (in Russian).

5. National Fire Alarm Code. Handbook / Fourth edition. Edited by Lee F. Richardson, Wayne D. Moore, P.E., *FSFPE*. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2004, 680 p.

6. Bukowski R.W., Richard D. Peacock, Jason D. Averill, Thomas G. Cleary, Nelson P. Bryner, Paul A. Reneke. Performance of Home Smoke Alarms. Analysis of the Response of Several Available Technologies in Residential Fire Settings. *NIST Technical Note 1455-1*. 2008, 265 p.

7. Drobysh D.V., Yesipovich D.L., Antoshin A.A. [Efficient use of autonomous fire detectors]. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya* [Emergencies: prevention and response], 2010, no. 2(28), pp. 55–64 (in Russian).

8. Kozubovskiy V.R., Misevich I.Z., Ivanchuk M.M. [Comparative Analysis of Sensors Contained in Gas Detectors Designed For Early Fire Detection]. *Bezpieczenstwo i technika pozarnicza*, 2015, vol. 40, no. 4, pp. 107–122. DOI: 10.12845/bitp.40.4.2015.8

9. [www.fireman.club](https://fireman.club/statyi-polzovateley/gazovyye-pozharnyye-izveshhateli-tipyi-raznovidnosti-plyusy-i-minusy/) [https://fireman.club/statyi-polzovateley/gazovyye-pozharnyye-izveshhateli-tipyi-raznovidnosti-plyusy-i-minusy/]. Accessed: 12.09.2018.

10. [www.tzmagazine.ru](http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=681&uid2=784&uid3=796) [http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=681&uid2=784&uid3=796]. Accessed: 19.09.2018.

11. Antoshyn A.A., Volkov C.A. [Experimental Test Procedure of the Spatial Distribution of Environmental Parameters and Products of Combustion in a Residential Area and Adjacent Spaces]. *Devices and*

Methods of Measurements, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 347–358 (in Russian).

DOI: 10.21122/2220-9506-2018-9-4-347–358

12. Zdor V. Particularities of gas fire detectors usage in fire automation systems. Gas detectors in accordance with GOST R 53325-2012. The security algorithm, 2013, no. 3, pp. 24–27 (in Russian).

13. Gaman V.I. *Fizika poluprovodnikovyyh gazovyh sensorov: monografiya* [Semiconductor Gas Sensor Physics]. Tomsk: NTL Publ., 2012, 112 p.

14. Averin I.A. *Fizicheskie osnovy poluprovodnikovyyh gazovyh sensorov: monografiya* [Physical fundamentals of semiconductor gas sensors]. Penza: PGU Publ., 2015, 188 p.

15. Saniz R. Sarmadian N., Partoens B., Batuk M., Hadermann J., Marikutsa A., Rumyantseva M. Lamoen D. First-principles study of CO and OH adsorption on In-doped ZnO surfaces. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2019, vol. 132, pp. 172–181.

DOI: 10.1016/j.jpics.2019.04.023

16. Buslov V., Kozhevnikov V., Kulikov D., Rembesa S., Russkikh D. [Semiconductor sensors for gas sensors and alarm systems]. *Sovremennaya elektronika* [Advanced electronics], 2008, no. 7, pp. 22–27 (in Russian).

17. Muhurov N.I., Denisyyuk S.V., Kudanovich O.N. [Adsorption resistive gas sensor] *Adsorbcionno-rezistivnyy gazovyy sensor* / Pat. RB, no. 10187. AB no. 3. 30.06.2014, 217 p.

18. Denisyyuk S.V., Mukhurov N.I., Kudanovich O.N. [Dual-Zone Gas Sensors on Al₂O₃ Substrates with Thin-Film Sensors from Iron Oxide]. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika* [Nano- and Microsystems Technology], 2018, no. 11, pp. 676–678 (in Russian).

19. Neplokhov I.G. [Gas channel fire detectors on Russian market]. *Sistemy bezopasnosti* [Security system], 2009, no. 5, pp. 102–106 (in Russian).

20. Semenov V. [Intelligent Gas Detector] *Sovremennaya elektronika* [Advanced electronics], 2007, no. 9, pp. 16–21 (in Russian).