

УДК 614.842.435

ПОВЫШЕНИЕ СЕНСОРНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЫМОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Шабловский Я.О.

Проанализированы пути усовершенствования радиоизотопных и линейных оптических пожарных извещателей, предназначенных для обнаружения задымлений. Предложены модификации базовых конструктивных схем таких извещателей, обеспечивающие повышение их сенсорной эффективности. Особое внимание уделено экологической безопасности радиоизотопных дымовых извещателей.

Ключевые слова: дымовые пожарные извещатели, линейный оптический извещатель, радиоизотопный извещатель.

(Поступила в редакцию 24 ноября 2015 г.)

Введение. Основным звеном любой системы противопожарной защиты служит пожарный извещатель [1]. В современных пожарных извещателях первичный сигнал, генерируемый чувствительным элементом (сенсором), обрабатывается электронной схемой, встроенной в пожарный извещатель. Необходимость оборудования системами пожарной сигнализации крупных и сложных по структуре объектов обусловила широкое внедрение систем сигнализации, снабженных микропроцессорными устройствами и автоматически принимающих решение о подаче сигнала «Предупреждение» или сигнала «Пожар». Благодаря широким возможностям микропроцессорной обработки первичного сигнала, поступающего от сенсора, уже давно перестали быть редкостью устройства пожарной сигнализации с функциями самодиагностики, компенсации запыленности и т. п., а в последние годы одним из перспективных направлений стало создание противопожарных систем на основе видеоаналитики [2 – 4].

Признавая значительные успехи в усовершенствовании устройств, обрабатывающих первичный сигнал и формирующих сигнал оповещения и/или реагирования, следует, однако, учесть, что с середины прошлого века в пожарной сигнализации только эти устройства и совершенствовались. В то же время, сенсорные элементы, формирующие первичный сигнал, у новейших пожарных извещателей по своей сути идентичны сенсорным элементам аналогичных извещателей предыдущих поколений [5 – 8]. В терминах теории обработки сигналов [9] это означает, что для увеличения отношения «сигнал/шум» на протяжении последних трех десятилетий изыскиваются все новые возможности подавления шума, тогда как качество и информативность сигнала остаются на том же уровне, что и 30-40 лет назад. Между тем, имеются возможности существенно повысить сенсорную эффективность пожарных извещателей достаточно простыми техническими средствами.

Предмет нашего исследования – дымовые пожарные извещатели. Возможность повышения эффективности формирования первичного сигнала в точечных оптических пожарных извещателях была рассмотрена нами ранее в работе [10]. В настоящей работе предложены пути повышения сенсорной эффективности линейных оптических пожарных извещателей и радиоизотопных пожарных извещателей.

Техническое решение. Линейные оптические пожарные извещатели устанавливаются в помещениях с высокими потолками либо в помещениях, где дым, прежде чем достичь пожарного извещателя, распространяется на большой площади. Наиболее распространены двухкомпонентные пожарные извещатели, состоящие из передатчика и приемника, размещаемых на противоположных сторонах защищаемой зоны. В последнее время все шире применяются более эффективные однокомпонентные пожарные извещатели, состоящие из блока приема-передачи и пассивного рефлектора (см., например, [11]). Нами предлагается усовершенствованная конструктивная схема (рис. 1), позволяющая существенно повысить эффективность линейного дымового пожарного извещателя за счет значительного расширения площади, контролируемой таким устройством.

На стене охраняемого помещения размещают лазерный диод 1, предпочтительно излучающий в спектральном диапазоне 380 – 425 нм (например, GaN лазерный диод Nichia), световой поток которого проходит через призму Рошона 2. На противоположной стене охраняемого помещения размещают фотоэлектрический преобразователь 3, снабженный диафрагмой 4. На той же стене размещают пассивный рефлектор 5, ориентированный та-

ким образом, чтобы отклоненный луч от призмы Рошона после отражения попадал на фотоэлектрический преобразователь 6, снабженный диафрагмой 7.

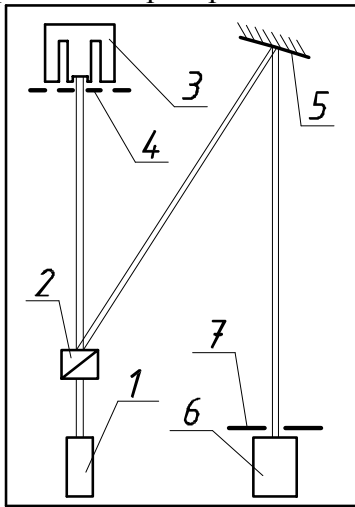


Рисунок 1 – Схема линейного дымового пожарного извещателя

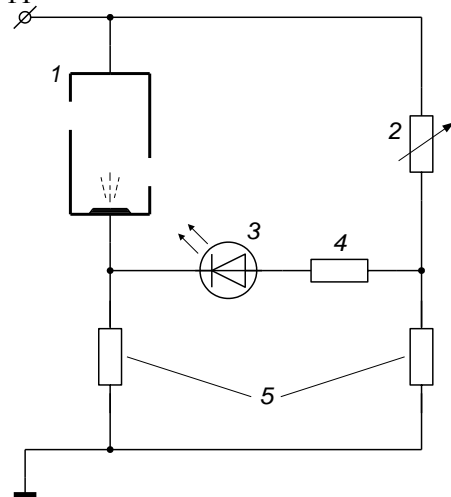


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема радионизотопного пожарного извещателя

Лазерные диоды излучают свет, частично поляризованный в плоскости, параллельной электронно-дырочному переходу [12]. Пропускание частично поляризованного света через призму Рошона обеспечивает раздвоение светового потока, в результате которого от призмы 2 распространяются два световых луча, один из которых отклоняется на угол, зависящий от материала призмы, а другой распространяется в направлении исходного светового потока. На представленном чертеже эти лучи изображены двойными линиями.

Отклоненный луч проходит вначале путь между призмой Рошона 2 и рефлектором 5, затем путь между рефлектором 5 и фотоэлектрическим преобразователем 6. Такая двухзвенная траектория зондирующего луча существенно увеличивает площадь охраняемого пространства. Фотоэлектрический преобразователь 6 непрерывно формирует выходной сигнал, пропорциональный интенсивности J поступающего светового потока. Распространяющийся в детектируемой воздушной среде отклоненный луч частично поглощается ею, а частично рассеивается. В отсутствие задымления интенсивность J приходящего света находится на практически неизменном уровне, превышающем установленное пороговое значение J_0 : $J > J_0$. Фотоэлектрический преобразователь 6, регистрирующий величину J и скорость $\frac{dJ}{dt}$ изменения этой величины с течением времени t , формирует сигнал «Норма/Исправность». С появлением задымления интенсивность рассеяния света возрастает, в результате чего величина J уменьшается с некоторой скоростью $\left(\frac{dJ}{dt} < 0\right)$. Фотоэлектри-

ческий преобразователь 6 вначале формирует сигнал «Опасность», а затем при снижении величины J до установленного порогового значения ($J \leq J_0$) формирует сигнал «Пожар». Неотклоненный луч аналогичным образом зондирует область пространства, не затронутую отклоненным лучом.

Линейный пожарный извещатель описанной конструкции способен также сигнализировать не только о задымлении, но и о наличии пламени, если в качестве фотоэлектрического преобразователя 3 использовать пару последовательно включенных диафрагмированных генераторов фотоэДС, нечувствительных к свету вне диапазона излучения лазерного диода. При этом первый из генераторов фотоэДС следует поместить на оси нормального хода луча, а второй – расположить концентрично первому и включить встречно с ним. Тогда в отсутствие пожарной опасности световое пятно луча занимает устойчивое положение в границах диафрагмы первого генератора фотоэДС фотоэлектрического преобразователя 3. Непрерывно вырабатываемая им фотоэДС E находится на практически неизменном уровне,

превышающем установленное пороговое значение E_0 : $E > E_0$, $\frac{dE}{dt} = 0$. Фотоэлектрический преобразователь, регистрирующий величины E и $\frac{dE}{dt}$, формирует сигнал «Норма/Исправность». С появлением задымления интенсивность рассеяния света возрастает, в результате чего величина E уменьшается с некоторой скоростью $\left(\frac{dE}{dt} < 0\right)$. Фотоэлектрический преобразователь вначале формирует сигнал «Опасность», а затем при снижении величины E до установленного порогового значения ($E \leq E_0$) формирует сигнал «Пожар».

Аналогичные сигналы будут сформированы при наличии пламени. При прохождении над ним светового луча создаваемый пламенем турбулентный поток горячих газов образует на пути луча совокупность газовых линз, стохастично изменяющих свою кривизну. Вследствие этого световой луч, проходя над пламенем, беспорядочно отклоняется от своей оси. Соответственно, световое пятно луча смещается от своего нормального положения в границах диафрагмы первого генератора фотоэдс и квазипериодически попадает на второй генератор фотоэдс. Благодаря встречному включению первого и второго генераторов фотоэдс эти смещения вызывают квазипериодически повторяющиеся резкие снижения уровня сигнала, формируемого фотоэлектрическим преобразователем 3, что сигнализирует о пожарной опасности.

Таковыми же смещениями будет сопровождаться прохождение над пламенем отклоненного луча. Благодаря двухзвенности его траектории при наличии в зоне отклоненного луча пламени этот луч не сможет проникнуть к диафрагмированному фотоэлектрическому преобразователю 6. В результате возникновения пламени приведет к длительному исчезновению сигнала, поступающего от преобразователя 6.

Помехоустойчивость предлагаемого устройства дополнительно повышается, если лазерные диоды излучают в спектральном диапазоне 380 – 425 нм, несвойственном большинству бытовых и промышленных источников света. Использование таких диодов также повышает чувствительность заявляемого способа к задымлениям и одновременно облегчает юстировку оптических устройств. В самом деле, рассеяние света мутной средой тем интенсивнее, чем короче длина волны света [13], поэтому для обнаружения дыма предпочтительно использование источника коротковолнового излучения. Наряду с этим, наибольшая простота и точность юстировки оптических устройств достигаются в видимом диапазоне излучения. Таким образом, наиболее целесообразен рабочий диапазон 380 – 425 нм, находящийся на границе видимого излучения с ультрафиолетовым.

Следует также отметить, что предложенная конструкция линейного оптического пожарного извещателя позволяет также автоматически сигнализировать о необходимости проведения профилактических работ. Именно, пониженные значения интенсивности света J , регистрируемые фотоэлектрическими преобразователями 3 и 6 в отсутствие обнаружимых изменений этой величины свидетельствуют о необходимости профилактических работ по устранению запыленности оптических устройств.

Перейдем к обсуждению пути усовершенствования конструкции радиоизотопного дымового пожарного извещателя (РИДПИ), иногда называемого также ионизационным.

В большинстве случаев РИДПИ применяется как основной блок аспирационных пожарных извещателей, используемых на объектах атомной энергетики, взрывоопасных складах, в шахтах, рудниках, тоннелях и т. п. Среди пожарных извещателей именно РИДПИ обладает наивысшей чувствительностью к дымам разных видов, поэтому многие специалисты признают целесообразность установки РИДПИ не только на вышеупомянутых объектах, но и в помещениях с особо ценным имуществом, стратегически значимым оборудованием и т. д. [14].

Главной особенностью РИДПИ является наличие в его конструкции источников ионизирующего излучения. Как базовая конструкция РИДПИ [15], так и его наиболее поздняя известная модификация РИДПИ [16] содержат 2 источника ионизирующего излучения. Эти источники размещают в камерах, которые различаются тем, что одна из них открыта для доступа воздуха атмосферы охраняемого объекта, а вторая герметично закрыта.

Вторую камеру часто называют компенсационной, хотя на практике такая дополнительная камера, будучи герметично закрытой, способна нивелировать только естественные

колебания температуры воздуха в охраняемом помещении и заведомо не может компенсировать колебания влажности воздуха и его запыленности, влияние которых намного значительнее. В действительности основным предназначением дополнительной камеры является балансировка электрической схемы РИДПИ за счет того, что в обе камеры помещены идентичные источники ионизирующего излучения.

Известно [17], что сопротивление межэлектродного промежутка радиоионизационной камеры составляет $10^9 - 10^{13}$ Ом. Конструкция РИДПИ с двумя источниками ионизирующего излучения разрабатывалась в первой половине прошлого века, когда доступные резистивные элементы со столь высоким сопротивлением имели весьма большие габаритные размеры. По этой причине вторая (закрытая) радиоионизационная камера в конструкции РИДПИ была необходима для технической реализации компактного высокоомного сопротивления.

Современная элементная база аналоговой электроники позволяет ограничиться использованием в конструкции РИДПИ одного источника радиоактивного излучения. Нами предлагается электрическая схема конструкции РИДПИ, представленная на рисунке 2.

Схема представляет собой электрический мост, основными элементами которого являются камера 1 с радионуклидом (например, плутоний-239 или америций-241), ионизирующим молекулы воздуха в камере, и переменное резистивное сопротивление 2. В диагонали моста размещается устройство, срабатывающее при разбалансировке электрического моста, т. е. устройство индикации пожарной тревоги. Конкретная техническая реализация этого индикаторного устройства для нашего рассмотрения не является принципиальной; в простейшем случае роль индикатора может выполнять светодиод 3, при необходимости снабжаемый балластным резистором 4. Два идентичных прецизионных резистора 5 довершают построение электрического моста.

Камера 1 должна быть выполнена с возможностью доступа воздуха атмосферы охраняемого объекта. Для уменьшения выдувания ионов за пределы камеры предпочтительно конструктивное исполнение камеры, исключающее сквозное протекание воздуха через нее.

При размещении РИДПИ в охраняемом помещении для перевода пожарного извещателя в дежурный режим производится настройка: изменением резистивного сопротивления 2 добиваются уравнивания электрического моста РИДПИ. В этом состоянии индикации пожарной тревоги нет. При появлении задымления частицы дыма проникают в камеру 1 и деионизируют воздух в ней, что приводит к повышению электрического сопротивления камеры 1 и разбалансировке электрического моста РИДПИ. Это, в свою очередь, вызывает индикацию пожарной тревоги (например, загорание светодиода 3).

Целесообразно исполнение переменного резистивного сопротивления 2 в виде последовательного электрического соединения прецизионного высокоомного резистора с сопротивлением $10^8 - 10^9$ Ом и переменного резистора с номинальным сопротивлением 1–10 кОм. Точность настройки тем выше, чем меньше дискретность шага изменения сопротивления переменного резистора, поэтому для достижения максимальной точности настройки в качестве переменного резистора предпочтительно использовать цифровой потенциометр [18]. Если же высокая точность настройки РИДПИ не требуется, то в качестве переменного резистора можно использовать реостат с соответствующим номинальным сопротивлением.

Предлагаемый переход от двухкамерной конструкции РИДПИ к однокамерной позволяет в 2 раза повысить экологическую безопасность устройства. Однако еще более существенным является дополнительное преимущество, обусловленное особенностями работы радиоионизационной камеры.

Число частиц, испускаемых радиоактивными веществами в равные промежутки времени, не одинаково, а подвержено статистическим отклонениям от некоторого среднего значения. Обусловленные этим естественные колебания плотности тока радиоионизационной камеры составляют $\sim 0,5\%$ [19]. Если в конструкции РИДПИ задействовать не одну, а две радиоионизационные камеры, то при любом конструктивном исполнении такого пожарного извещателя формируемый им первичный сигнал будет представлять собой разностный сигнал, создаваемый стохастическими токами, протекающими в электрических ветвях, разделенных узлом цепи. Это, как известно [9, 20], существенно усложняет корректную обработку электрического сигнала.

Заключение. Проанализированы пути усовершенствования радиоизотопных и линейных оптических дымовых пожарных извещателей. Предложены модификации базовых

конструктивных схем таких извещателей, обеспечивающие повышение их надежности и эффективности.

Предложенная модификация конструкции линейного оптического пожарного извещателя позволяет в несколько раз увеличить площадь пространства, охраняемого одним пожарным извещателем.

Предложенная конструкция радиоизотопного пожарного извещателя с единственной ионизационной камерой имеет два преимущества по сравнению с аналогами. Во-первых, отсутствие добавочной камеры с радиоактивным веществом вдвое повышает экологическую безопасность устройства. Во-вторых, в электрической цепи устройства протекает только один стохастично изменяющийся ток, что существенно упрощает обработку сигнала, формируемого устройством.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, Е.Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты / Е.Н. Иванов. – Москва: Химия, 1990. – 384 с.
2. Новые методы и технические средства обнаружения пожара / А.Н. Членов [и др.]. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 175 с.
3. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара / А.В. Фёдоров [и др.]. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 160 с.
4. Соболев, А.Н. Видеоаналитика для обнаружения пожара // Алгоритмы безопасности. 2014. № 6. С. 50 – 53.
5. Шаровар, Ф.И. Устройства и системы пожарной сигнализации / Ф.И. Шаровар. – Москва: Стройиздат, 1979. – С. 22–92.
6. Шаровар, Ф.И. Принципы построения устройств и систем пожарной сигнализации / Ф.И. Шаровар. – Москва: Стройиздат, 1983. – 335 с.
7. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 1. Производственная автоматика для предупреждения пожаров и взрывов. Пожарная сигнализация / А.А. Навацкий [и др.]; под ред. А.А. Навацкого. – Москва: Академия ГПС МЧС РФ, 2005. – 335 с.
8. Синилов, В.Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации / В.Г. Синилов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2010. – С. 218–226.
9. Эпендиев, М.Б. Информативность сигналов на фоне помех / М.Б. Эпендиев, Ю.Е. Глазов. – Ижевск: РХД, 2008. – 129 с.
10. Шабловский, Я.О. Повышение надежности дымовых и газовых пожарных извещателей / Я.О. Шабловский // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012. – Т. 7, № 2. – С. 114–119.
11. Неплохов, И.Г. Линейные дымовые пожарные извещатели / И.Г. Неплохов // Грани безопасности. 2006. – № 33. – С. 42 – 46.
12. Грибковский, В.П. Полупроводниковые лазеры / В.П. Грибковский. – Минск: Университетское, 1988. – 304 с.
13. Волькенштейн, М.В. Молекулярная оптика / М.В. Волькенштейн. – Москва-Ленинград: ГИТТЛ, 1951. – С. 261–277.
14. Сафронов, В.Г. Радиоизотопные приборы: проблемы радиационной безопасности / В.Г. Сафронов, А.В. Жевлаков // Безопасность окружающей среды. – 2007. – № 2. – С. 38–41.
15. Бубырь, Н.Ф. Пожарная автоматика / Н.Ф. Бубырь, В.П. Бабуров, В.И. Мангасаров. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 22.
16. Ионизационный пожарный извещатель: пат. 2182366 РФ: МПК7 G08B17/11/ В.П. Плотников, В.А. Пушкин, Г.М. Щербаков, В.Г. Федорков; дата публ.: 10.05.2002.
17. Штейнбок, Н.И. Основные вопросы применения радиоактивных излучений в измерительной технике / Н.И. Штейнбок // УФН. – 1954. – Т. 54, № 2. – С. 231 – 284.
18. Пушкарев, М.М. Цифровые потенциометры / М.М. Пушкарев // Компоненты и технологии. – 2006. – № 5. – С. 74 – 85.
19. Бушуев, А.В. Методы измерения ядерных материалов / А.В. Бушуев. – М.: МИФИ, 2007. – 276 с.
20. Миронов, Э.Г. Методы и средства электрических измерений / Э.Г. Миронов. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009. – С. 199.

SENSOR EFFICIENCY IMPROVEMENT FOR SMOKE DETECTORS

Jaroslav Shablovskiy, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
Gomel State Technical University named after Sukhoi, Gomel, Belarus

Summary. Were analyzed the ways to improve radioisotope and linear optical fire alarm systems, designed to sense smoke. Were offered modifications of the basic construction schemes of such detectors, providing the improvement of their sensor efficiency. Special attention was paid to ecological safety of radioisotope smoke detectors.

Keywords: radioisotope, fire alarm systems, smoke detector.

(The date of submitting: November 24, 2015)

REFERENCES

1. Ivanov E.N. *Raschet i proektirovanie sistem protivopozharnoy zashchity*. Moscow : Khimiya, 1990. 384 p. (rus)
2. Chlenov A.N. [i dr.]. *Novye metody i tekhnicheskie sredstva obnaruzheniya pozhara*. Moscow : Akademiya GPS MChS Rossii, 2007. 175 p. (rus)
3. Fedorov A.V. [i dr.]. *Sistemy i tekhnicheskie sredstva rannego obnaruzheniya pozhara*. Moscow : Akademiya GPS MChS Rossii, 2009. – 160 c. (rus)
4. Sobolev A.N. Videoanalitika dlya obnaruzheniya pozhara. *Algoritmy bezopasnosti*. 2014. No. 6. Pp. 50 – 53. (rus)
5. Sharovar F.I. *Ustroystva i sistemy pozharnoy signalizatsii*. Moscow : Stroyizdat, 1979. Pp. 22–92. (rus)
6. Sharovar F.I. *Printsipy postroeniya ustroystv i sistem pozharnoy signalizatsii*. Moscow: Stroyizdat, 1983. 335 p. (rus)
7. Navatskiy A.A. [i dr.] *Proizvodstvennaya i pozharnaya avtomatika. Ch. 1. Proizvodstvennaya avtomatika dlya preduprezhdeniya pozharov i vzryvov. Pozharnaya signalizatsiya*. Moscow : Akademiya GPS MChS RF, 2005. 335 p. (rus)
8. Sinilov V. G. *Sistemy okhrannoy, pozharnoy i okhranno-pozharnoy signalizatsii*. Moscow : Publishing center «Akademiya», 2010. Pp. 218–226. (rus)
9. Ependiev M.B., Glazov Yu.E. *Informativnost' signalov na fone pomekh*. Izhevsk : RKhD, 2008. 129 p. (rus)
10. Shablovskiy Ya. O. Povyshenie nadezhnosti dymovykh i gazovykh pozharnykh izveshchateley. *Chrezvychaynye situatsii: obrazovanie i nauka*. 2012. Vol. 7, No. 2. Po. 114–119. (rus)
11. Neplokhov I.G. Lineynye dymovye pozharnye izveshchateli. *Grani bezopasnosti*. 2006. No. 33. Pp. 42–46. (rus)
12. Gribkovskiy V.P. *Poluprovodnikovye lazery*. Minsk : Universitetskoe, 1988. 304 p. (rus)
13. Vol'kenshteyn M.V. *Molekulyarnaya optika*. Moscow-Leningrad : GITTL, 1951. Pp. 261–277. (rus)
14. Safronov V.G., Zhevlakov A. V. Radioizotopnye pribory: problemy radiatsionnoy bezopasno-sti. *Bezopasnost' okruzhayushchey sredy*. 2007. No. 2. Pp. 38–41. (rus)
15. Bubyr' N.F., Baburov V.P., Mangasarov V.I. *Pozharnaya avtomatika*. Moscow : Stroyizdat, 1984. Pp. 22. (rus)
16. Plotnikov V.P., Pushkin V.A., Shcherbakov G.M., Fedorkov V.G. *Ionizatsionnyy pozharnyy izveshchatel'* : pat. 2182366 RF: MPK7 G08B17/11/ Publ. 0.05.2002. (rus)
17. Shteynbok N.I. Osnovnye voprosy primeneniya radioaktivnykh izlucheniyy v izmeritel'noy tekhnike. *UFN*. 1954. Vol. 54, No. 2. Pp. 231–284. (rus)
18. Pushkarev M.M. Tsifrovyye potentsiometry. *Komponenty i tekhnologii*. 2006. No. 5. Pp. 74–85. (rus)
19. Bushuev A.V. *Metody izmereniya yadernykh materialov*. Moscow : MIFI, 2007. 276 p. (rus)
20. Mironov E.G. *Metody i sredstva elektricheskikh izmereniy*. Ekaterinburg: UGTU–UPI, 2009. Pp. 199. (rus)