

УДК 614.841

**канд. физ.-мат. наук Кицак А.И., Лущик А.П., Есипович Д.Л.,
Конон В.Н.*, Кавальчук И.В.*, Протасевич О. А.*, Третьяк И.Б.****

**Разработка опытного образца точечного дымового пожарного
извещателя повышенной чувствительности к дымам различной
природы и высокой помехоустойчивости**

*Учреждение «Научно-исследовательский институт
пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций»
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск*

**Закрытое акционерное общество «Запспецтехсервис», г. Минск*

***Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец точечного дымового пожарного извещателя повышенной чувствительности к дымам различной природы и высокой устойчивости к воздействию частиц не дымового происхождения.

Опытный образец дымового пожарного извещателя обеспечивает высокие функциональные характеристики благодаря применению в предложенной конструкции дополнительного канала обнаружения дыма по принципу контроля интенсивности излучения, проходящего через дым, и датчика СО газа.

Ключевые слова: дымовой пожарный извещатель, дымы различной природы, датчик СО газа, чувствительность, помехоустойчивость

**Ph.D. (Phys. and Math.) A.I. Kitsak, A.P. Lushchyk, D.L. Esipovich,
V.N. Conon*, I.V. Kavalchuk*, O.A. Protasiewicz*, I.B. Tretiak****

**Development of a point smoke fire detector prototype of increased
sensitivity to smokes of different nature and high noise immunity**

*The Establishment «Research Institute of Fire Safety and Emergencies»
of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk*

**Closed Joint-Stock Company «Zapspetstehservis», Minsk*

***Belarusian National Technical University, Minsk*

The design documentation is developed and the point smoke fire detector prototype of increased sensitivity to smokes of different nature and high noise immunity to high resistance of particles not smoke origin is made.

The smoke fire detector prototype ensures high functional characteristics through the use of the proposed design of the smoke additional channel detection on the principle of controlling the intensity of radiation passing through the smoke and CO gas sensor.

Keywords: smoke detector, smokes of different nature, CO gas sensor, sensitivity, noise immunity

Введение

Точечные оптические датчики дыма остаются в настоящее время наиболее быстродействующими средствами обнаружения возгорания. Благодаря этому свойству они находят широкое применение как в качестве самостоятельных извещателей пожара, так и в составе комбинированных извещателей. Несмотря на высокую востребованность точечных оптических дымовых извещателей, они обладают рядом существенных ограничений. Наиболее важными из них являются низкая чувствительность к «черным» дымам и высокое сопротивление заходу дыма в дымовую камеру [1]. Данные ограничения приводят к увеличению времени обнаружения возгорания при отсутствии конвективных потоков воздуха и появлению ложных срабатываний вследствие повышения чувствительности электронного тракта извещателя для обнаружения «черных» дымов.

Более однородной чувствительностью к дымам различной природы обладают линейные оптические дымовые извещатели. Данное свойство обеспечивается применяемым в них принципом обнаружения дыма, основанным на контроле интенсивности излучения, проходящего через дым. При прохождении излучения через дым происходит ослабление его интенсивности. Ослабление обуслов-

лено как рассеянием части излучения частицами дыма, так и поглощением его. «Черные» дымы, в которых преобладают поглощающие частицы, эффективно ослабляют проходящее через них излучение и, таким образом, легко обнаруживаются линейным извещателем на ранней стадии возгорания.

Для обеспечения высокой чувствительности линейные дымовые извещатели, рекомендуется применять при размерах контролируемого оптического пути защищаемого пространства, равным не менее 6 м. Недавно предложена оптическая схема линейного дымового извещателя [2], позволяющая эффективно обнаруживать дым на оптическом пути, примерно равном поперечному размеру современного точечного дымового извещателя.

Целью настоящей работы являлась разработка и изготовление опытного образца точечного дымового пожарного извещателя повышенной чувствительности к черным дымам и высокой помехоустойчивости.

Оптическая схема опытного образца дымового пожарного извещателя

На рисунке 1 представлена структура оптической схемы опытного образца дымового пожарного извещателя.

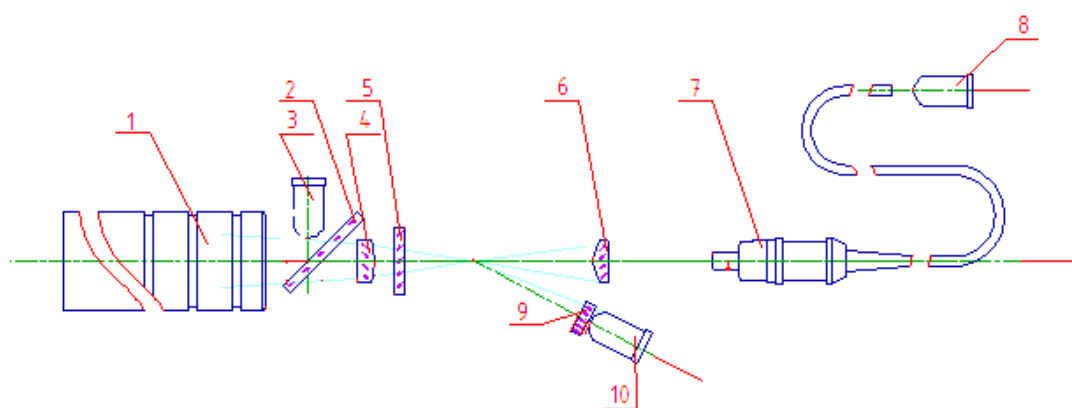


Рисунок 1 – Структура оптической схемы опытного образца дымового пожарного извещателя

Схема включает блок источника и два блока приемников излучения (блок приема проходящего через дым излучения и блок приема излучения, рассеянного частицами дыма).

Блок источника состоит из лазера 1, генерирующего излучение с малой угловой расходимостью, прозрачной пластинки 2, отражающей часть излучения на опорный приемник 3, самого опорного приемника 3, линзы 4, фокусирующей излучение лазера в объем контролируемого пространства, и защитной пластинки 5.

Блок приемника проходящего излучения включает собирающую линзу 6, формирующую с увеличением, равным 1, изображение пятна фокусировки излучения источника в плоскости входного торца оптоволоконна 7 и приемника излучения 8 на выходе оптоволоконна.

Блок приемника излучения, рассеянного частицами дыма, состоит из светофильтра 9 и приемника 10. Светофильтр подбирается с полосой пропускания в области спектра излучения источника.

Блок источника совместно с блоком регистрации проходящего через дым излучения составляют собственно оптическую схему линейного

дымового извещателя. Блок источника совместно с блоком регистрации рассеянного частицами дыма излучения формируют оптическую схему традиционного оптического точечного дымового извещателя.

Принцип работы опытного образца дымового пожарного извещателя

В отсутствие дыма излучение лазерного источника попадает только на опорный приемник 3 и сигнальный приемник 8, расположенный на выходе оптоволоконна 7. Диаметр сердцевины оптоволоконна подбирается примерно равным или меньше диаметра пятна фокусировки, сформированного линзой 6 в отсутствие дыма. По сигналам, формируемым опорным и сигнальным приемниками, осуществляются контроль интенсивности излучения источника и корректировка чувствительности приемной схемы электронного блока регистрации проходящего излучения при уменьшении интенсивности излучения лазера.

При появлении дыма часть излучения источника из области фокусировки рассеивается частицами дыма в сторону линзы 6 и приемника излучения 10. Линза 6 формирует

в плоскости входного торца оптоволоконка 7 изображение пятна фокусировки как в проходящих, так и рассеянных лучах. Основная часть рассеянного частицами дыма излучения распространяется под большими углами к оси источника излучения и не попадает в световодный канал оптоволоконка. По оптоволоконку распространяется и регистрируется на его выходе приемником 8 в основном не рассеянное дымом излучение. Интенсивность этого излучения уменьшается с увеличением плотности дыма. При достижении определенной скорости падения сигнала на выходе приемника 8 и постоянстве сигнала на выходе приемника 3 появляется сигнал «Тревога».

Приемник 10 регистрирует излучение только рассеянное частицами дыма. Его интенсивность растет с увеличением плотности дыма. При достижении определенной скорости роста сигнала на выходе приемника 10, а также постоянстве сигнала на выходе приемника 3 формируется также сигнал «Тревога». Если одновременно происходит падение с заданной скоростью сигнала в кана-

ле регистрации проходящего через дым излучения и рост с определенной скоростью сигнала в канале регистрации рассеянного излучения, то появляется сигнал «Пожар».

Для повышения устойчивости работы извещателя при воздействии частиц не дымового происхождения в опытном образце предусмотрена возможность установки датчика СО газа. Как известно, данный газ выделяется при горении большинства веществ. В этом случае алгоритм работы извещателя несколько изменяется. Извещатель выдает сигнал «Пожар» только тогда, когда одновременно с сигналом «Тревога» по одному из дымовых каналов регистрируется появление СО газа в концентрации, превышающей уровень 40 ppm.

Конструкция опытного образца точечного дымового пожарного извещателя

Общий вид опытного образца дымового извещателя представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид опытного образца дымового пожарного извещателя

Извещатель состоит из корпуса, внутри которого закреплена оптиче-

ская сборка, состоящая из узла источника излучения, узла приема рассеян-

ного излучения, узла приема проходящего излучения. Внутри корпуса извещателя крепится также модуль управления и цифровой обработки регистрируемых сигналов.

Узел источника состоит из корпуса цилиндрического типа, в котором расположены источник излучения, плоскопараллельная пластинка для отражения части излучения на приемник опорного излучения, положительная линза для фокусировки излучения в зону захода дыма и плоскопараллельная пластинка из оптического стекла для предотвращения попадания внутрь корпуса частиц пыли и дыма.

В качестве источника излучения используется лазерный модуль МЛ 150-0940-60-TTL со встроенными драйверами стабилизации и модуляции мощности излучения. Модуль генерирует излучение с расходимостью $\sim 0,3$ мрад. на длине волны $\lambda = 940$ нм. Средняя мощность излучения ~ 60 мВт. Излучение фокусируется положительной линзой с апертурой, равной 6,5 мм, и фокусным расстоянием $f = 15$ мм в зону захода дыма в пятно размером ~ 30 мкм.

Приемником опорного излучения, как и других регистрируемых в извещателе излучений, служит фотодиод HPDB5b-14h. Максимум спектральной чувствительности фотодиода приходится на $\lambda = 940$ нм. Напряжение его питания равно 5 В.

Узел приема рассеянного излучения состоит из корпуса в виде стакана с прорезями на боковой поверхности для захода дыма. По центру противоположных стенок стакана имеются отверстия с резьбами. С их помощью корпус узла прие-

ма рассеянного излучения соединяется с одной стороны с узлом источника излучения, а с другой стороны с узлом приемника проходящего излучения. В стенке корпуса узла приема рассеянного излучения, соединяющейся с узлом приемника проходящего излучения, проделано отверстие под корпус самого приемника рассеянного излучения и светофильтр. В качестве светофильтра используется пластинка из ПММА-690 толщиной $\sim 2,73$ мм. Граница пропускания материала пластинки видимого диапазона длин волн излучения находится на длине волны $\lambda = 690$ нм. Коэффициент пропускания излучения на длине волны $\lambda = 940$ нм составляет 91-92 %.

Узел приема проходящего излучения состоит из корпуса цилиндрического вида. На одном из его концов крепится линза диаметром 6,5 мм и фокусным расстоянием $f = 9$ мм. На противоположном конце корпуса крепится приемник проходящего излучения вместе с установленной перед ним оптоволоконной линзой. Линза строит изображение пятна фокусировки излучения, сформированного в зоне захода дыма, в плоскости входного торца оптоволоконной линзы по центру его сердцевинки. Диаметр отверстия сердцевинки составляет ~ 60 мкм.

Модуль управления и цифровой обработки сигналов опытного образца точечного дымового пожарного извещателя

Модуль включает блок управления, блоки приема и обработки опорного, проходящего и рассеянного частицами дыма излучения, датчик СО

газа, блоки питания и блок индикации.

Блок управления образован на базе 8-битного микроконтроллера PIC16F886-I/SL. Микроконтроллер используется для модуляции интенсивности лазерного излучения, приема и оцифровки сигналов, регистрируемых фотоприемниками опорного, проходящего и рассеянного частицами дыма излучений, выполнения математических и логических операций над данными сигналами, запоминания и вывода их на средства индикации и внешние исполнительные цепи.

Блоки регистрации опорного, проходящего и рассеянного частицами дыма излучения состоят из приемников излучения и усилителей сигналов на основе операционных усилителей TLV2780IDBV. Датчик CO газа представляет собой электрохимический сенсор NAP505 с пределом измерения концентрации CO газа от 0 до 1000 ppm и сроком службы 10 лет. Для усиления формируемого им сигнала используется операционный усилитель AD8607AR.

Для питания лазерного модуля, блоков регистрации и обработки сигналов используются стабилизаторы напряжения типа MC78L05 с широким диапазоном входных напряжений (рекомендуемое значение 12 В). Выходное напряжение стабилизируется на уровне 5 В.

Блок индикации включает световую индикацию сигнала «Пожар» по каждому из каналов регистрации опасных факторов пожара, индикацию сигнала «Пожар» на жидкокристаллический индикатор, выдачу сигнала «Пожар» на внешние устройства

оповещения через замыкание контактов оптореле.

Алгоритм работы опытного образца точечного дымового пожарного извещателя

Алгоритм работы извещателя состоит в выполнении последовательности математических и логических действий над регистрируемыми сигналами и выдачи сигналов извещения на внешние исполнительные устройства. Он реализуется по заранее записанной в памяти микроконтроллера программе. Условно в ней можно выделить:

- процесс калибровки извещателя;
- верификацию текущих значений регистрируемых сигналов;
- формирование сигналов извещения.

Каждый раз при подаче питания на инициализированный микроконтроллер (микроконтроллер, в память которого введены данные о переменных величинах, константах, портах ввода, вывода и т.д.) в отсутствие дыма осуществляется тестирование извещателя. Заключается оно в определение исходных физических параметров окружающей среды и сохранении их в памяти микроконтроллера извещателя для последующей оценки величин изменения параметров среды при наличии дыма.

Процесс тестирования длится 30 с и включает обмен за интервал времени, равный 1 с, данными микроконтроллера по SPI-протоколу с каждым из внешних 12-разрядных модулей АЦП, отвечающих за измерения сигналов по одному из трех каналов обнаружения возгорания. Для каналов

опорного, проходящего и рассеянного излучений выборка сигнала происходит на частоте 666 Гц. Измерения производятся в максимумах и минимумах TTL модулированного сигнала с интервалом 0,75 мс. Результатом измерения является амплитуда сигнала за вычетом его значения в минимуме, усредненная по более 500 – ам выборкам.

В СО канале за время 1 с через интервал 0,75 мс производится более 1000 отсчетов значений напряжения на выходе операционного усилителя сигнала датчика СО газа. Результатом измерения является усредненное по числу отсчетов значение напряжения.

Полученные по четырем каналам измерений данные сохраняются в памяти микроконтроллера. Циклы измерений сигналов и сохранение их в памяти микроконтроллера за 1 с продолжаются до 10 с. Начиная с 11 и последующих секунд, измеренные значения сигналов по каждому из каналов обнаружения возгорания сравниваются с соответствующими значениями, полученными на 10 с раньше.

Если на 11 секунде: 1) значение сигнала, измеренное в каналах регистрации опорного и проходящего излучений, не ниже (более чем на 10 мВ) соответствующего значения, измеренного в момент времени $(t-10)$ с; 2) значение сигнала, измеренное в канале регистрации рассеянного излучения, не превышает (более чем на 100 мВ) соответствующее значение, измеренное в момент времени $(t-10)$ с; 3) сигнал от СО датчика находится в пределах от 0,4 до 0,8 В, происходит завершение режима тестирования состояния среды. Изме-

ренные значения сигналов заносятся в энергонезависимую память EEPROM микроконтроллера. В память микроконтроллера заносится также пороговое значение напряжения в канале обнаружения СО газа, равное 1300 мВ. Регистрируемые сигналы фиксируются в памяти как сигналы «Норма» в отсутствие задымления. Завершение режима «Тест» и переход извещателя в дежурный режим работы индицируются кратковременным включением индикатора красного цвета с периодичностью не реже одного раза в минуту.

Если на 11 секунде не выполняется хотя бы одно из перечисленных выше условий, особенно условие по СО каналу, циклы измерений повторяются до положительного результата. В случае, когда за время 30 с сигналы «Норма» не будут зафиксированы, режим «Тест» продлевается еще на 30 с. Режим «Тест» сопровождается последовательным зажиганием световых индикаторов дымовых и газового каналов обнаружения возгорания.

После окончания тестирования извещатель переходит в режим верификации сигналов (дежурный режим работы). Он заключается в измерении за тот же промежуток времени 1 с текущих значений сигналов по каждому из каналов обнаружения возгорания, запоминании их значений и сопоставлении со значениями, полученными в моменты времени $(t-10)$ с. Если в процессе работы происходит уменьшение сигнала, измеренного в канале регистрации проходящего излучения, на величину, равную или больше 10 мВ относительно значения, зарегистрированного в этом

канале в момент времени ($t-10$) с, а средняя величина опорного сигнала остается неизменной, формируется сигнал «ТРЕВОГА». Это состояние индицируется миганием индикатора красного цвета длительностью больше 1 с.

Если в это же время отклик сигнала в канале регистрации рассеянного излучения превышает значение сигнала в момент времени ($t-10$) с на 100 или больше милливольт, формируется сигнал «ТРЕВОГА», который индицируется миганием индикатора желтого цвета длительностью больше 1 с. Аналогично, если отклик сигнала в канале регистрации СО газа превышает значение сигнала в момент времени ($t-10$) с на 50 мВ или допустимый уровень 0,8 В, формируется сигнал «ТРЕВОГА», который индицируется миганием индикатора синего цвета длительностью больше 1 с.

В случае одновременной выдачи сигналов «ТРЕВОГА» по одному из дымовых каналов обнаружения возгорания и каналу регистрации СО газа (появление логического состояния «И») формируется сигнал «ПОЖАР». Это состояние извещателя индицируется постоянным свечением индикатора красного цвета. При этом микроконтроллер выдает также сигнал на замыкание оптореле для выдачи сигнала «ПОЖАР» во внешние цепи.

Если общий сигнал «ПОЖАР» не выдан в течение одной секунды, одиночные сигналы «ТРЕВОГА» по каналу 1, каналу 2 и каналу 3 или двойной сигнал «ТРЕВОГА» канал 1 и «ТРЕВОГА» канал 2 снимаются,

и извещатель переходит в дежурный режим работы.

Общий сигнал «ПОЖАР» снимается только отключением питания извещателя. При повторной подаче питания на извещатель его работа начинается с выполнения режима «ТЕСТ».

Применение логической схемы «И» для формирования сигнала «ПОЖАР» в опытном образце пожарного извещателя уменьшает число ложных срабатываний по каждому из каналов обнаружения возгорания и повышает достоверность обнаружения возгорания.

Результаты испытаний опытного образца точечного дымового пожарного извещателя

Объем испытаний дымовых каналов опытного образца извещателя был ограничен определением основных параметров функционального назначения, оценкой соответствия опытного образца конструктивным требованиям, а также оценкой эффективности работы опытного образца извещателя в реальных условиях при натуральных испытаниях согласно СТБ 16.03-2009 по 5 типам тестовых очагов пожара.

Минимальное пороговое значение оптической плотности дыма, обнаруживаемого в канале регистрации рассеянного излучения, $\sim 0,05$ дБ/м. Минимальное пороговое значение оптической плотности дыма, обнаруживаемого в канале регистрации, проходящего через дым излучения, $\sim 0,9$ дБ/м. Измерение порогов срабатывания опытного образца извещателя проводилось в дымовой камере по методике СТБ 16.03-2009.

Установлено, что основной причиной, ограничивающей чувствительность «линейного» канала обнаружения дыма, является нестабильность мощности излучения источника, которая составляла ~0,25 %. Минимальная концентрация СО газа, обнаруживаемая датчиком СО газа, равна ~40 ppm.

Испытания опытного образца точечного дымового пожарного извещателя на обнаружение тестовых очагов пожара проводились одновременно с тестовыми испытаниями обычных точечных дымовых извещателей.

Тестовый очаг пожара ТП-1 (горение древесины) опытный образец извещателя обнаружил через 3 мин 46 с после поджога очага. При этом наличие СО газа зарегистрировано датчиком СО газа на 3 мин 25 с горения очага. Обычный извещатель отреагировал на ТП-1 через 5 мин 55 с.

Тестовый очаг пожара ТП-2 (тление древесины) первым обнаружил обычный дымовой извещатель на 18 мин 33 с тления древесины. Через 23 с опытный образец извещателя обнаружил наличие СО газа. Сигнал «Пожар» он подал на 19 мин 16 с.

Тестовый очаг пожара ТП-3 (тление хлопчатых фителей) опытный образец извещателя обнаружил через 1 мин 10 с после поджога очага. Обычный извещатель сработал на 2 мин 16 с.

Тестовый очаг пожара ТП-4 (горение пенополиуретана) обнаружен опытным образцом извещателя через 1 мин 17 с после поджога очага.

Через 12 с сигнал «Пожар» подал обычный дымовой извещатель.

Тестовый очаг пожара ТП-5 (горение n-гептана) опытный образец извещателя обнаружил через 3 мин 50 с после поджога n-гептана. При этом наличие дыма было обнаружено каналом регистрации проходящего излучения на 2 мин 30 с горения n-гептана. Наличие СО газа было зарегистрировано на 3 мин 40 с. Обычный дымовой извещатель не среагировал на горение n-гептана до конца его выгорания.

Результаты испытаний опытного образца точечного дымового извещателя на эффективность обнаружения тестовых очагов пожара обосновывают целесообразность применения в точечных дымовых извещателях «линейного» канала обнаружения дыма. Наличие его в опытном образце извещателя позволило своевременно обнаружить «черный» дым горящего n-гептана, в то время как обычный дымовой извещатель не зарегистрировал его появление.

Выводы

Разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец точечного дымового пожарного извещателя малой инерционности и высокой чувствительности к различным видам дымов.

В опытном образце дымового пожарного извещателя впервые реализованы два независимых дымовых канала обнаружения возгорания: канал со способом обнаружения возгорания традиционным для точечных дымовых извещателей (по уровню интенсивности излучения, рассеянного частицами дыма) и дополнитель-

ный канал со способом обнаружения возгорания, применяемым в линейных дымовых извещателях (по уровню снижения интенсивности излучения, прошедшего через дым). Наличие в извещателе «линейного» канала контроля состояния среды позволяет эффективно обнаруживать наряду со «светлыми» также «черные» дымы, состоящие в основном из поглощающих излучение частиц.

В предложенной модели дымового извещателя отсутствует свойственная для обычных точечных дымовых извещателей дымовая камера, которая, как правило, затрудняет заход дыма в извещатель. Прямой заход дыма в извещатель существенно уменьшает время обнаружения пожара.

Опытный образец точечного дымового извещателя обладает высокой устойчивостью к воздействию частиц не дымового происхождения таких, как частиц пыли, пара и бытовых аэрозолей. Высокая помехоустойчивость извещателя обеспечивается использованием датчика СО газа, сопутствующего горению большинства веществ. Применение датчика СО газа и логической схемы «И» в алгоритме работы извещателя, когда сигнал «ПОЖАР» формируется только в случае одновременного обнару-

жения дыма по одному из каналов регистрации дыма и СО газа, исключает возможность ложного срабатывания извещателя при воздействии помеховых частиц в отсутствие дыма, так как датчик СО газа при этом не регистрирует наличие газа в воздухе в заданной концентрации.

Результаты тестовых испытаний опытного образца дымового пожарного извещателя подтвердили его высокую чувствительность и достоверность обнаружения возгораний различных материалов и веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев, А. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, пара, аэрозолям / А. Зайцев // Алгоритм безопасности. – 2012. – № 3. – С. 17-19.

2. Извещатель пожарный оптический дымовой : полезная модель 9045 Респ. Беларусь : МПК G 08B 17/10 / А.И. Кицак., А.П. Луцкич, Д.Л. Есипович, А.М. Гамезо ; дата публ.: 28.02.2013.

