

УФ + ИК В ЛИНЕЙНОМ ДЫМОВОМ ИЗВЕЩАТЕЛЕ. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Неплохов Игорь Геннадьевич

к.т. н., технический директор ГК «Пожтехника» по ПС

Дымовые пожарные извещатели широко используются во всем мире для защиты от пожара. Они обеспечивают раннее обнаружение на этапе тления очага. В отличие от тепловых извещателей дымовые реально защищают жизнь людей, обнаруживая пожароопасную ситуацию до заполнения помещения дымом и ядовитыми газами. Недостаток простейших дымовых извещателей – это ложные тревоги от пыли, пара, аэрозолей и т. д. В настоящее время для защиты от этих воздействий разработаны и используются на практике различные технологии, одна из которых – идентификация дыма по размеру частиц. Этот способ основан на зависимости уровня сигнала от длины волны излучателя и реализуется при работе одновременно в двух диапазонах.

Двухдиапазонные точечные дымовые пожарные извещатели выпускаются более 10 лет. Их принцип действия и технические преимущества достаточно подробно рассмотрены в многочисленных статьях [1-5]. По линейным двухдиапазонным извещателям излагаются только общие понятия на примере двухдиапазонного УФ+ИК линейного извещателя OSID в статьях [6-8]. В этой статье приводятся результаты экспериментальных исследований извещателя OSID по тестовым очагам ТП-1 – горение дерева и ТП-2 – тление дерева, а также по воздействию аэрозоли для тестирования точечных дымовых извещателей. Испытания проводились в тестовом помещении экспериментально-исследовательского центра ГК «Пожтехника».

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

В точечных дымовых оптико-электронных извещателях используется оптопара – светодиод и фотодиод, расположенные в дымовой камере таким образом, что при отсутствии дыма на фотодиод попадает минимальный уровень сигнала, переотраженный от стенок дымовой камеры (рис. 1 а), так называемый уровень «чистого воздуха». При появлении дыма сигнал увеличивается за счет рассеяния излучения светодиода на частицах дыма (рис. 1 б). Когда этот сигнал достигает уровня порога, происходит активация извещателя с формированием сигнала «Пожар».

В линейном дымовом извещателе все происходит в обратной последовательности. В отсутствии дыма от излучателя на приемник поступает максимальный уровень сигнала (рис. 2 а), который также называется уровнем «чистого воздуха» и фиксируется в процессе юстировки. Появление на трассе между излучателем и приемником дыма вызывает снижение уровня сигнала (рис. 2 б), и также при достижении установленного уровня порога извещатель переходит в режим «Пожар».

Дымы различных очагов состоят из частиц различного размера и при разработке пожарных извещателей необходимо обеспечить эффективное обнаружение максимально широкого спектра дымов. Дымовые извещатели в зависимости от реализованного физического принципа обнаружения, схмотехнических и конструктивных особенностей имеют неодинаковую чувствительность к дымам различных типов. На рисунке 3 показан относительный уровень чувствительности дымовых извещателей различного типа в зависимости от диаметра частиц, при условии постоянства их суммарной массы [9, 10]. Линейные оптико-электронные детекторы, использующие технологию затухания света при прохождении через контролируемую зону, определяют как видимые крупные частицы, так и невидимые частицы минимальных размеров. Их чувствительность достаточно стабильна по отношению к изменению размеров частиц дыма.

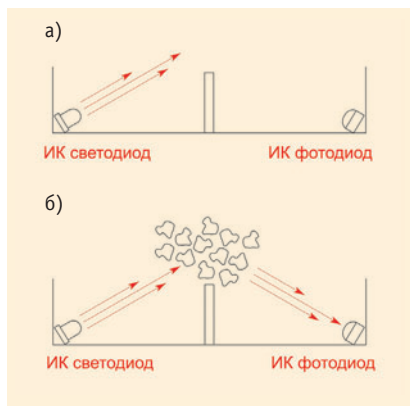


Рис. 1. Принцип действия точечного дымового извещателя

Точечные дымовые оптико-электронные извещатели инфракрасного диапазона (ИК), которые выпускаются в настоящее время, имеют максимальную чувствительность по дымам с видимыми частицами размером порядка 0,5-1 микрона, диаметр которых соизмерим с длиной волны ИК светодиода. По дымам с частицами более мелкого размера их чувствительность резко падает.

Радиоизотопные детекторы, которые в настоящее время не выпускаются, определяют наличие дыма посредством ионизации молекул воздуха в дымовой камере, имеют линейную, обратно пропорциональную зависимость чувствительности от размера частиц. Они имеют максимальную чувствительность по невидимым частицам дыма минимального размера размером начиная с 10 нм и реагируют даже на изменение влажности воздуха, из-за чего пришлось ввести дополнительную камеру для компенсации этого эффекта. Объясняется это тем, что с уменьшением размера частиц, при постоянной массе, увеличивается их суммарная поверхность, на которой происходит рекомбинация ионов, и, соответственно, на большую величину снижается ионизационный ток, протекающий через камеру.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОСНОВАНИЕ

Уровень и диаграмма рассеянного сигнала в основном зависят от соотношения размеров частиц и длины волны света. Рассеяние света на частицах размером меньше $1/10$ длины волны, молекулярное рассеяние, впервые было изучено и описано Рэлеем. По закону Рэля интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна четвертой степени длины волны. Рассеяние аксиально-симметрично относительно направления распространения падающей волны. При неполяризованной волне максимумы рассеяния, направленные вперед и назад, одинаковы по величине, минимальное рассеяние наблюдается в перпендикулярном направлении (рис. 4).

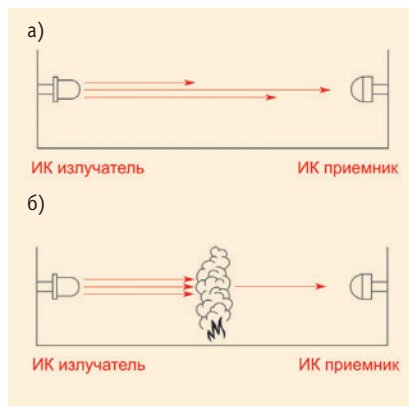


Рис. 2. Принцип действия линейного дымового извещателя

Теорию рассеяния при больших размерах частиц развил немецкий физик Густав Ми. Этот вид рассеяния, названный по его имени рассеянием Ми, существенно отличается от рэлеевского рассеяния. С увеличением относительного размера частиц появляется асимметрия рассеяния, увеличивается рассеяние вперед. Например, на рисунке 5 приведено рассеяние для случая, когда диаметр частиц равен половине длины волны света. В этом случае максимум рассеяния направлен вперед, минимумы соответствуют углам порядка 90° , максимум рассеяния в обратном направлении еще сохраняется, но становится значительно меньше по величине.

При дальнейшем увеличении относительных размеров частиц происходит существенное изменение диаграммы рассеяния. Она еще больше вытягивается вперед и становится изрезанной по другим направлениям, появляются боковые максимумы. На рисунке 6 приведено рассеяние для случая, когда диаметр частиц превышает две длины волны падающего света.

Таким образом, диаграммы рассеяния, изображенные на рисунках 4-6, показывают изменение уровня сигнала фотодиода при расположении оптических осей углом порядка 120° . А использование в дополнение к инфракрасному светодиоду с длиной волны 0,95 микрон синего светодиода с длиной волны 0,47 микрон (рис. 7) позволяет дифференцировать частицы в дымовой камере по размеру. Сигнал фотодиода от частиц дыма при включении синего светодиода значительно больше по сравнению с сигналом при включении ИК светодиода. В отличие от дыма, частицы значительно большего размера (пыль, пар, аэрозоли и т. д.) дают практически равные сигналы [4].

Для линейного извещателя, наоборот, максимальный сигнал проходит через среду с самыми большими размерами частиц (рис. 6), при уменьшении их размера затухание увеличивается (рис. 5). Для частиц значительных размеров (пара, аэрозолей)

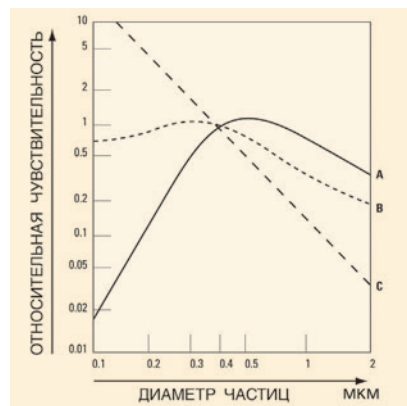


Рис. 3. Относительная чувствительность детекторов в зависимости от размера частиц дыма. А – оптический точечный, В – оптический линейный, С – ионизационный

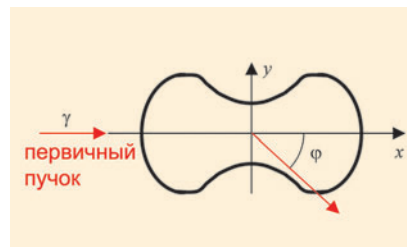


Рис. 4. Рассеяние света на частицах значительно меньших длины волны

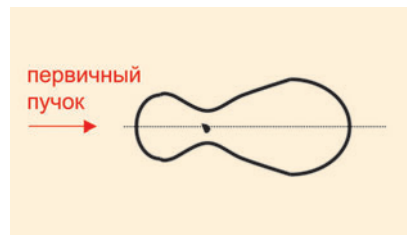


Рис. 5. Рассеяние света на частицах примерно равных $1/2$ длины волны

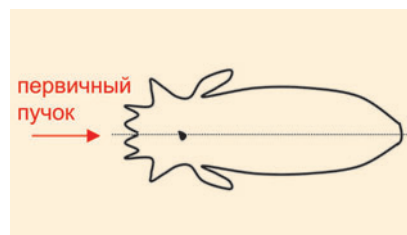
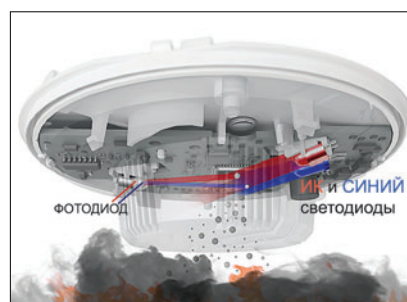


Рис. 6. Рассеяние света на частицах примерно в 2 раза больших длины волны

Рис. 7. Инфракрасный и синий светодиоды в дымовой камере



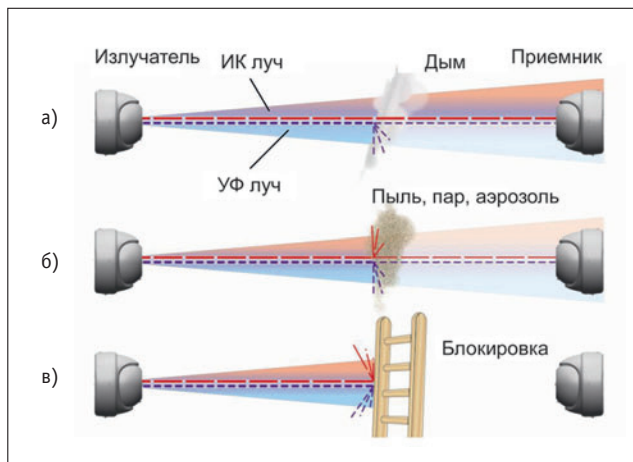


Рис. 8. Ослабление УФ и ИК сигналов при прохождении а) через дым; б) через пыль; в) при блокировке сигналов

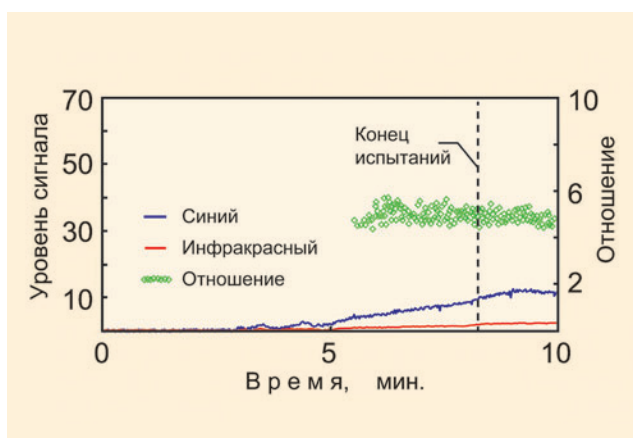


Рис. 9. Сигналы в синем и инфракрасном диапазонах и их отношение при очаге ТФ1

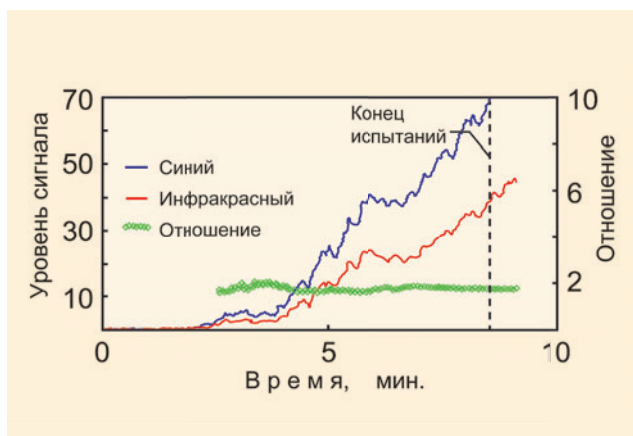


Рис. 10. Сигналы в синем и инфракрасном диапазонах и их отношение при очаге ТФ2

Рис. 11. Уменьшенный в 10 раз очаг ТП-1



и при частичной блокировке луча предметами или механизмами ослабление УФ и ИК сигналов одинаковое (рис. 8).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧЕЧНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

На рисунках 9, 10 приведены для точечного дымового извещателя уровни сигналов от синего и инфракрасного светодиодов и их отношение при очагах ТФ1 – горение древесины и ТФ2 – тление древесины [1]. Отношение сигналов на выходе фотодиода при включении синего и инфракрасного светодиодов в процессе развития очага практически не изменялось и находилось в первом тесте в районе 5, во втором – в районе 2. Необходимо также отметить, что обнаружение дыма при открытом горении дерева в синем диапазоне происходит значительно раньше по сравнению с инфракрасным диапазоном, что показывает существенно большую эффективность оптических извещателей синего диапазона для обнаружения очагов открытого пламени по сравнению с традиционными инфракрасными извещателями.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УФ+ИК ЛИНЕЙНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

В отличие от испытаний точечного дымового извещателя, линейный УФ+ИК дымовой извещатель испытывался по тестовым очагам значительно меньших размеров.

УМЕНЬШЕННЫЙ ТЕСТОВЫЙ ОЧАГ ТП-1

Тестовый очаг ТП-1 по ГОСТ Р 53325-2012 – открытое горение древесины имеет размер 50х50 см и состоит из 70 брусков размером 10х20х250 мм (общий объем древесины 3500 см³), уложенных в 7 слоев. В данном эксперименте использовался очаг размером 9х9 см, который состоял из 13 буковых брусков размером 18х20х85 мм (общий объем древесины 400 см³), уложенных в 5 слоев. Т.е., площадь очага была уменьшена в 30 раз с 2500 см² до 81 см², объем древесины был уменьшен почти в 10 раз. Эксперимент проводился на линейном многолучевом дымовом извещателе OSID, который одновременно излучает УФ сигналы с длиной волны 0,4 микрон и ИК сигналы с длиной волны 0,85 микрон. Расстояние между излучателем и приемником было равно 8 м. На рисунке 11 показано состояние очага ТП-1 уменьшенного размера через 3 мин., через 6 мин., через 9 мин., через 12 мин. и через 15 мин. после начала теста. Полностью очаг сгорел за 16,5 минут, т.е. за 990 сек.

На рисунке 12 показано изменение оптической плотности среды в УФ и в ИК диапазоне в процессе развития очага по результатам измерений линейного извещателя OSID. Можно отметить, что появление дыма обнаруживается в ультрафиолетовом диапазоне значительно раньше по сравнению с инфракрасным диапазоном. Через 10 минут после начала теста оптическая плотность в УФ диапазоне достигает 18,2%, а в ИК диапазоне – только 7%, отношение равно $K = 2,6$.

Также проводились исследования изменения размеров частиц дыма в течение длительного времени. Считается, что дым со временем «стареет», его частицы объединяются и увеличиваются в размерах. В данном случае такое явление обнаружено не было. После окончания теста оптическая плотность

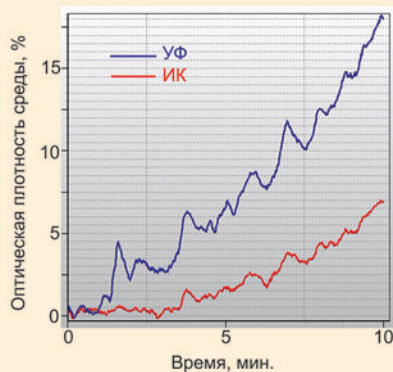


Рис. 12. Испытания по тестовому очагу ТП-1, уменьшенному в 10 раз

среды снижалась практически линейно, но соотношение величин затухания в УФ и ИК диапазонах в течение более полутора часов не изменялось (рис. 13). Возможно, явление слипания частиц дыма возникает при значительных скоростях воздушных потоков в воздуховодах. При проведении этого теста устройство рециркуляции воздуха в тестовом помещении было выключено.

УМЕНЬШЕННЫЙ ТЕСТОВЫЙ ОЧАГ ТП-2

Исследования на дым от пиролизного тления древесины проводились по тестовому очагу ТП-2 по ГОСТ Р 53325-2012, уменьшенному в 18 раз, с одним буковым бруском 40х20х20 мм и включенным устройством рециркуляции воздуха. Стандартный тестовый очаг для испытаний точечных дымовых извещателей ТП-2 состоит из 10 буковых брусков размером 75х25х20 мм, а для испытаний газовых СО извещателей его допускается увеличивать. Брусок располагался на рабочей поверхности электрической плитки мощностью 1,5 кВт (рис. 14). Электроплитка нагревалась в течение 12 минут 30 сек. (750 сек.). В процессе испытаний открытое горение отсутствовало.

Извещатель перешел в режим «Пожар» через 8 мин. 20 сек. после включения электроплитки, при оптической плотности в УФ диапазоне 28%, в ИК диапазоне 15%, отношение равнялось $K = 1,87$. Через 12 мин. оптическая плотность в УФ диапазоне составила 51,5%, в ИК диапазоне 27%, отношение равнялось $K = 1,9$ (рис. 15). Максимальная оптическая плотность достигала в УФ диапазоне 62,7%, а в ИК диапазоне 34% (рис. 16), соответственно отношение $K = 1,84$.

Перевод величины затухания излучения Δ , выраженной в процентах, переводится в децибелы по формуле:

$$M [\text{дБ}] = 10 \lg [100 / (100 - \Delta)]$$

В ИК диапазоне максимальная оптическая плотность составила 34% (1,8 дБ). Усредненная удельная оптическая плотность среды при расстоянии между излучателем и приемником 8 м равна

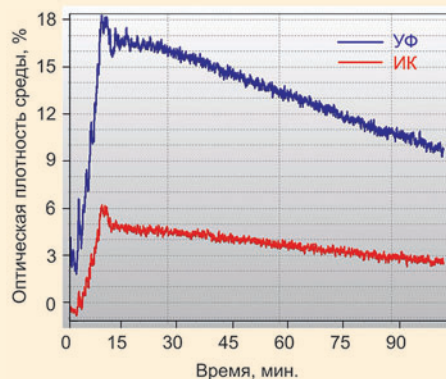


Рис. 13. Изменение оптической плотности среды после окончания теста

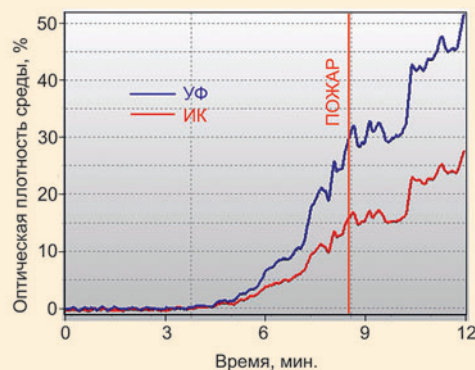


Рис. 15. Испытания по тестовому очагу ТП-2, уменьшенному в 18 раз

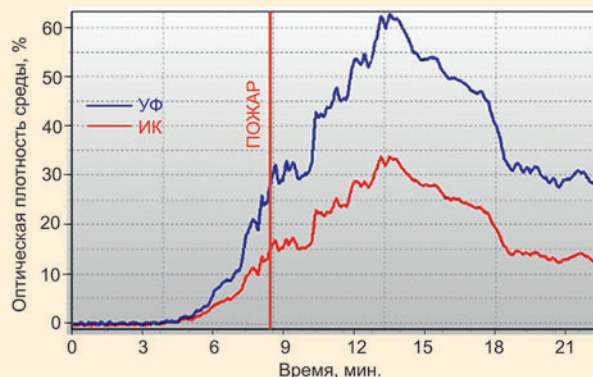


Рис. 16. Оптическая плотность среды в начале и конце теста

Рис. 14. Уменьшенный в 18 раз тестовый очаг ТП-2

а) в начале теста



б) при нагреве плитки



в) по окончании теста





Рис. 17. Аэрозоль для тестирования точечных дымовых, тепловых и газовых СО извещателей

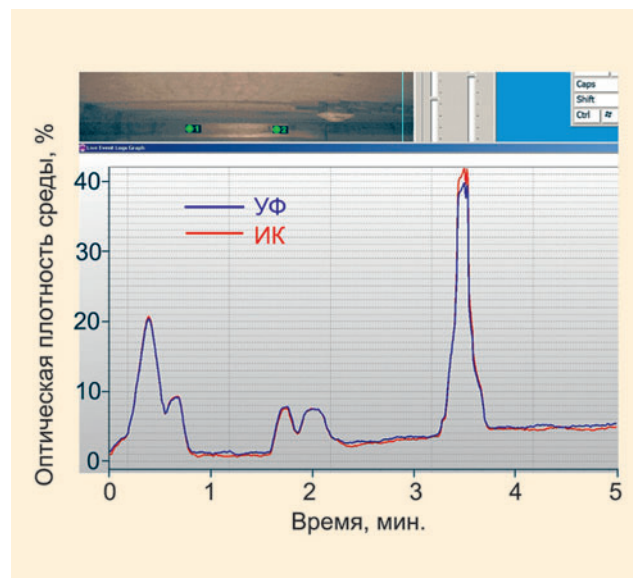


Рис. 18. Результат тестирования аэрозолем

$m = 1,8 \text{ дБ/8 м} = 0,225 \text{ дБ/м}$. Активировался линейный дымовой извещатель УФ+ИК при оптической плотности в ИК диапазоне равной 15% (0,7 дБ), соответственно, усредненная удельная оптическая плотность примерно равна 0,089 дБ/м. Точечные дымовые и газовые извещатели очаги таких размеров не обнаруживают.

ПОМЕХОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

В качестве помехового воздействия на линейный дымовой извещатель УФ+ИК была использована аэрозоль для тестирования точечных дымовых, тепловых и газовых СО извещателей (рис. 17). Аэрозоль распылялась вдоль оптической оси линейного извещателя несколько раз в процессе испытаний. При повышении оптической плотности среды до 10-20%

ослабление сигналов и в УФ и ИК диапазонах одинаковое (рис. 18). На уровнях оптической плотности порядка 40% можно отметить некоторое расхождение результатов измерений примерно на 2%. Также можно отметить, что в процессе тестирования за 5 минут фон оптической плотности увеличился с 1 до 6% за счет распределения аэрозоля по всему объему тестового помещения. Таким образом, можно сделать заключение, что тестовая аэрозоль имеет размер частиц, значительно превышающий размер частиц дыма. Перехода извещателя в режим «Пожар» не происходит. В верхней части рисунка 18 виден фрагмент стоп-кадра видеоматрицы OSID тестового помещения с индикацией по двум излучателям, зеленый цвет соответствует дежурному режиму.

Таким образом, использование в линейном дымовом ИК извещателе дополнительно ультрафиолетового канала повышает его чувствительность по очагам горения и тления дерева в 2-2,5 раза. Разница оптической плотности в УФ и ИК диапазонах позволяет с высокой достоверностью идентифицировать дым и помеховое воздействие при оптической плотности среды менее 10%. Результаты экспериментальных исследований показали, что УФ+ИК линейный дымовой извещатель обнаруживает в 10-20 раз меньшие очаги по сравнению с точечными дымовыми и газовыми пожарными извещателями – это необходимо учитывать при выборе типа пожарного извещателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. SEEING THE LIGHT – Dual Optical Detectors // «Fire Safety Engineering». 2005. May.
2. Неплохов И. Г. Развитие дымовых извещателей // «Грани безопасности». 2008. № 5.
3. Неплохов И. Г. Двухдиапазонный дымовой пожарный извещатель // «Системы безопасности». 2008. № 3.
4. Сулим Т. Двухдиапазонные дымовые извещатели – новый уровень точности обнаружения // «Алгоритм безопасности». 2010. № 5.
5. Зайцев А. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, пару и аэрозолям. Часть I // «Алгоритм безопасности». 2012. № 3.
6. Неплохов И. Г. Уникальные пожарные извещатели // «Системы безопасности». 2012. № 3.
7. Неплохов И. Г. Двухдиапазонные технологии в пожарных извещателях // «Технологии защиты». 2012. № 3.
8. Зайцев А. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, пару и аэрозолям. Часть 3 // «Алгоритм безопасности». 2012. № 5.
9. Bukowski Richard W. Smoke Measurements In Large and Small Scale Fire Testing // NBS IR78–1502.
10. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров/Пер. с англ. К. Г. Бомштейна; под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. М.: Стройиздат, 1990.
11. Матвеев А. Н. Оптика. М.: Высшая школа, 1985.

УФ + ИК В ЛИНЕЙНОМ ДЫМОВОМ ИЗВЕЩАТЕЛЕ. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Часть 2

Неплохов Игорь Геннадьевич

к.т. н., технический директор ГК «Пожтехника» по ПС

В первой части статьи [1], опубликованной в №1, 2016 журнала «Алгоритм безопасности», изложены теоретические предпосылки разработки двухдиапазонных дымовых точечных и линейных пожарных извещателей, приведены результаты экспериментальных исследований двухдиапазонного УФ+ИК линейного извещателя по уменьшенным в 10-20 раз тестовым очагам ТП-1 – горение дерева, ТП-2А – тление дерева и по воздействию тестовой аэрозоли для дымовых извещателей. Во второй части статьи приводятся результаты экспериментальных исследований по уменьшенному очагу ТП-3А – тление хлопка, по стандартному очагу ТП-5А – горение н-гептана и по тестовой дымовой шашке. Испытания проводились в тестовом помещении экспериментально-исследовательского центра ГК «Пожтехника».

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Для оценки чувствительности дымовых извещателей используются величины затухания, выраженные в процентах или в децибелах. Для определенности необходимо привести формулы пересчета величины затухания Δ в процентах (%) в величину затухания M в децибелах (дБ) и обратно:

$$M [\text{дБ}] = 10 \lg [100 / (100 - \Delta)] \quad (1)$$

$$\Delta [\%] = 100 - 100 / 10^{M/10} \quad (2)$$

Для общего представления некоторые значения затухания в процентах и децибелах, а также величина коэффициента передачи $K_{\text{пер}}$ в «разах», приведены в таблице 1.

$$K_{\text{пер}} = 1 - \Delta / 100 \quad (3)$$

$$\Delta = 100 (1 - K_{\text{пер}}) \quad (4)$$

У линейных дымовых извещателей порог срабатывания задается в абсолютных единицах оптической плотности среды M в децибелах (дБ) или Δ в процентах (%). У точечных дымовых извещателей чувствительность измеряется по удельной оптической плотности среды, соответственно m в дБ/м и δ в %/м, с пересчетом по тем же формулам (1) и (2). Имеется существенная разница между этими единицами: с величинами, выраженными в децибелах, удобно работать, поскольку величины затухания в дБ на отдельных участках трассы складываются, а соответствующие им коэффициенты передачи «в раз» перемножаются. Величины затухания в процентах не складываются и не перемножаются. Чтобы определить удельную оптическую плотность оптической среды m [дБ/м], необходимо величину затухания M [дБ] разделить на величину длины оптического луча в метрах.

Табл. 1. Величины затухания в процентах и децибелах

$\Delta, \%$	10	15	20	25	30	40	50	60	70	90	95	99
$K_{\text{пер}}$	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,1	0,05	0,01
$M, \text{дБ}$	0,46	0,71	0,97	1,25	1,55	2,22	3,01	3,98	5,23	10	13,01	20

Табл. 2. Величина удельной оптической плотности в %/м и в дБ/м

$\delta, \%/м$	0,5	1	2	3	4	5	7	10	15	20
$m, \text{дБ/м}$	0,022	0,044	0,088	0,132	0,177	0,223	0,315	0,458	0,706	0,969

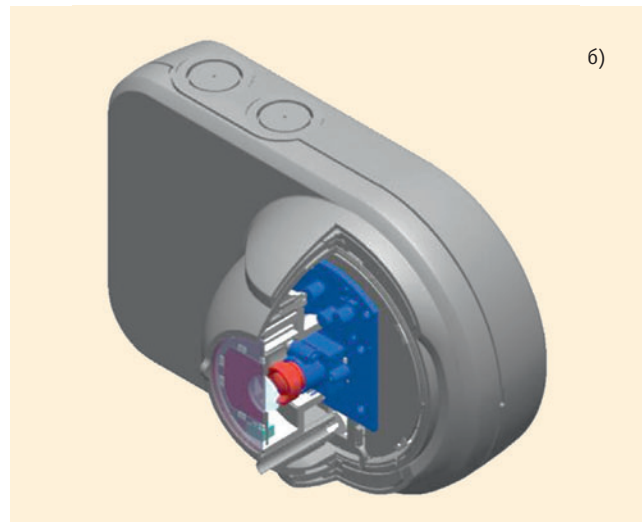
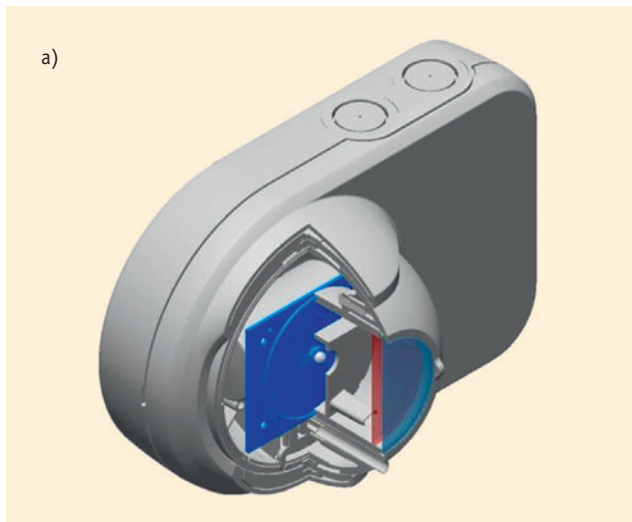


Рис. 1. Конструкция извещателя OSID: а) УФ + ИК излучатель, б) приемник с ч/б CMOS-камерой

Например, если у линейного извещателя установлен порог срабатывания $\Delta = 20\%$, то его величина в децибелах равна $M = 0,97$ дБ. Соответственно, при длине оптической оси 8 м и при условии равномерного задымления он активируется при удельной оптической плотности среды равной примерно $m = 0,97 : 8 = 0,12$ дБ/м. Обратно из величины $m = 0,12$ дБ/м по формуле (2) получаем величину удельной оптической плотности $\delta = 2,75\%/м$. Коэффициент передачи сигнала по формуле (3) для расстояния 1 м равен $K_{пер} (1 м) = 1 - 2,75/100 = 0,9725$ [безразмерная величина]. Чтобы вычислить коэффициент передачи сигнала для расстояния 8 м необходимо перемножить эту величину 8 раз: $K_{пер} (8 м) = 0,9725^8 = 0,8$. Соответственно, по формуле (4) получаем исходную величину оптической плотности среды в процентах $\Delta = 100 (1 - 0,8) = 20\%$. В таблице 2 для общего представления приведены некоторые величины удельной оптической плотности в $\%/м$ и в дБ/м.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УФ + ИК ИЗВЕЩАТЕЛЯ OSID

В извещателе OSID [2-4] в качестве приемника используется черно-белая CMOS-камера (рис. 1), которая контролирует уровни сигналов одного или нескольких, разнесенных в пространстве двухдиапазонных излучателей. Причем для снижения тока потребления в дежурном режиме анализируются только те пиксели, которые соответствуют положению излучателей, и не постоянно, а только во временные интервалы, соответствующие излучению сигналов. Программа диагностики OSID Diagnostic Tool позволяет отобразить на дисплее стоп-кадр с CMOS-камеры. После идентификации излучателей отображается их расположение с указанием номера и индицируется их режим работы в реальном времени цветом точки (рис. 2). Кроме того, программа диагностики позволяет отобразить графики изменения оптической плотности среды по каждому лучу в ультрафиолетовом (УФ) и в инфракрасном (ИК) диапазоне, что очень удобно при проведении экспериментальных исследований.

Импульсные сигналы УФ диапазона с длиной волны 400 нм и сигналы ИК диапазона с длиной волны 850 нм следуют один за другим. Принцип действия УФ + ИК линейного дымового извещателя основан на теории рассеяния Густава Ми, вид диаграммы рассеяния зависит от отношения диаметра частиц к длине волны проходящего света [5]. Затухание излучения в прямом направлении также зависит от соотношения размера частиц и длины волны. Диаметр частиц дыма практически от всех очагов значительно меньше диаметра частиц пыли, пара и аэрозолей. Затухание сигналов в ультрафиолетовом диапазоне при прохождении через дым значительно больше по сравнению с затуханием излучения в инфракрасном диапазоне.

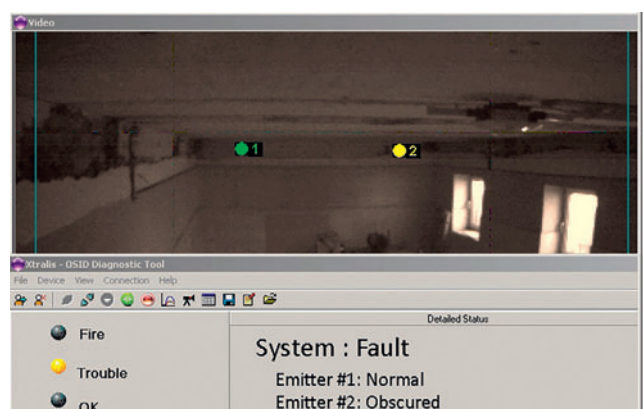
При прохождении через среду с более крупными частицами, например через аэрозоль, для тестирования дымовых извещателей сигналы ослабляются примерно одинаково [1]. Использование этого эффекта позволяет исключить ложные тревоги линейного дымового извещателя при работе в пыльной среде, при частичной блокировке луча кран-балкой, при затенении оптической системы птицами и насекомыми, и даже при деформации строительных конструкций.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В первой части статьи приведены тесты УФ + ИК извещателя по очагам ТП-1 – горение дерева и ТП-2А – тление дерева, уменьшенным в 10-20 раз. Через 10 минут после начала теста с очагом ТП-1 из 13 брусков размером 20х20х85 мм оптическая плотность в УФ диапазоне достигает 18,2%, а в ИК диапазоне – только 6%, при переводе в децибелы по формуле (1) затухание в УФ диапазоне примерно равно 0,87 дБ, а в ИК диапазоне примерно равно 0,27 дБ, и отношение равно 3,25. При меньших оптических плотностях среды, например, при затухании в УФ диапазоне 10% (0,46 дБ), затухание в ИК диапазоне равно 3% (0,13 дБ), отношение при измерении в децибелах равно 3,45.

На уменьшенном тестовом очаге ТП-2А (один брусок размером 20х20х40 мм) линейный извещатель перешел в режим «Пожар» через 8 мин. 20 сек. после включения электроплитки. При этом оптическая плотность в УФ диапазоне достигла 28% (1,43 дБ), в ИК диапазоне 15% (0,71 дБ), отношение затуханий в децибелах примерно равно 2,02. Через 12 мин. оптическая плотность в УФ диа-

Рис. 2. Расположение излучателей в тестовом помещении – стоп кадр



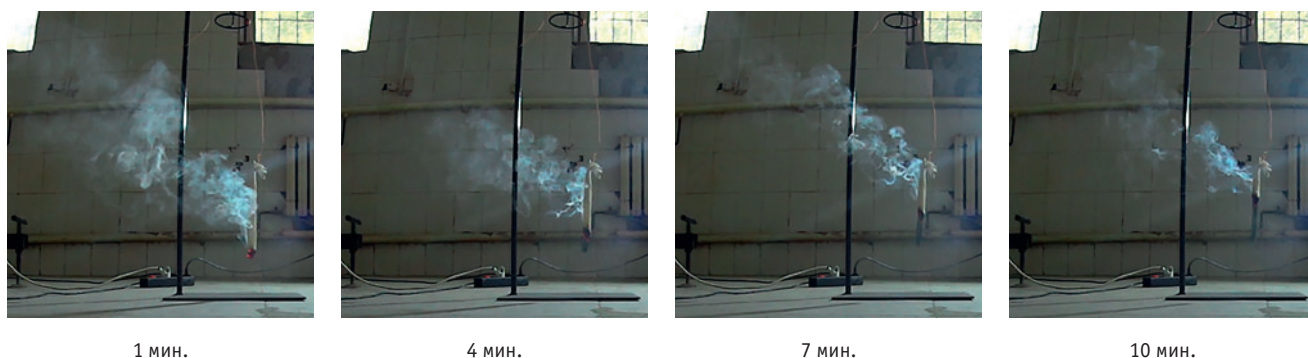


Рис. 3. Тестовый очаг ТП-3А уменьшенного размера – тление хлопка со свечением



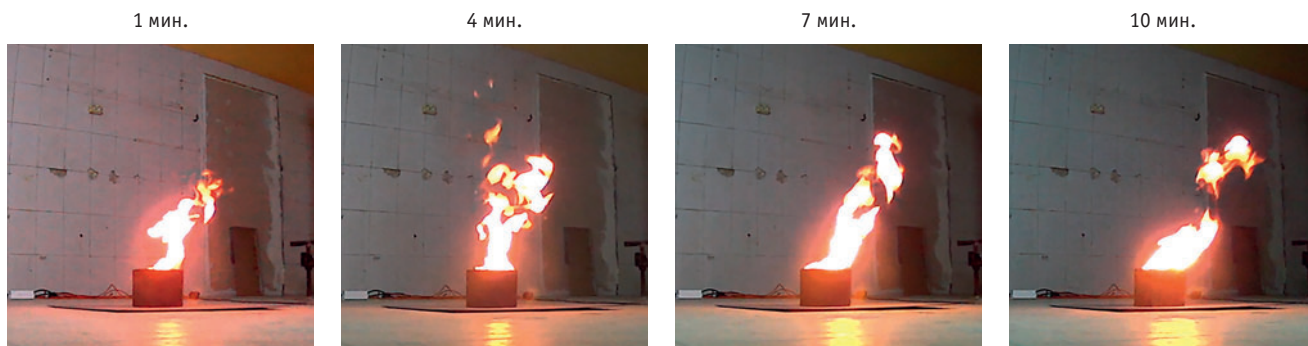
Рис. 4. Испытания по тестовому очагу ТП-3А уменьшенного размера

пазоне составила 51,5% (3,14 дБ), в ИК диапазоне 27% (1,37 дБ), отношение в децибелах равнялось 2,29. Максимальная оптическая плотность достигала в УФ диапазоне 62,7% (4,28 дБ), а в ИК диапазоне 34% (1,80 дБ), соответственно, отношение в децибелах 2,38.

ТЕСТОВЫЙ ОЧАГ ТП-3А УМЕНЬШЕННОГО РАЗМЕРА – ТЛЕНИЕ ХЛОПКА

При испытании использовались хлопковые нитки в количестве 50 шт., прикрепленные к проволочному кольцу, подвешенному на штативе. Собранные в пучок концы ниток поджигались открытым пламенем, после чего пламя задувалось и оставалось тление концов ниток, сопровождающееся свечением (рис. 3). Величина очага была уменьшена в несколько раз по сравнению со стандартным очагом ТП-3А по ГОСТ Р 53325-2012 [6]. Испытание проводилось при включенном устройстве циркуляции воздуха, вследствие чего дым распространялся не вертикально вверх, а рассеивался равномерно по всему объему помещения (рис. 3).

Рис. 5. Тестовый очаг ТП-5А – горение н-гептана



На рисунке 4 показано изменение оптической плотности среды в УФ и ИК диапазонах в процессе развития очага по результатам измерений линейного извещателя. Можно отметить, что появление дыма обнаруживается в ультрафиолетовом диапазоне раньше по сравнению с инфракрасным диапазоном. Через 10 минут после начала теста оптическая плотность в УФ диапазоне достигает 13%, а в ИК диапазоне – только 4,5%. После перевода этих величин в децибелы получим затухание в УФ диапазоне 0,6 дБ, в ИК диапазоне 0,2 дБ и отношение примерно равно 3,0. При меньших уровнях задымления, когда оптическая плотность в УФ была 8%, в ИК диапазоне – только 3%. Соответственно в децибелах – в УФ равна 0,36 дБ, в ИК равна 0,13 дБ, отношение равно 2,74.

ТЕСТОВЫЙ ОЧАГ ТП5А – ГОРЕНИЕ ЛВЖ С ВЫДЕЛЕНИЕМ ДЫМА

При испытаниях использовался н-гептан с добавлением 3% толуола, в поддоне из листовой стали размером 100x100x100 мм в соответствии с ГОСТ Р 53325-2012 [2], поджог осуществлялся открытым пламенем, испытание проводилось при включенном устройстве циркуляции воздуха (рис. 5). Тестовый очаг ТП-5А – горение легковоспламеняющейся жидкости с выделением дыма, минимальных размеров, по ГОСТ Р 53325-2012 предназначен для тестирования только аспирационных извещателей высокой чувствительности класса А, с порогом срабатывания в дымовом канале по аэрозоли менее 0,035 дБ/м.

Сигнал «Пожар» был сформирован через 337 сек. (рис. 6) при затухании в УФ диапазоне около 30% (1,55 дБ) и при затухании в ИК диапазоне 16% (0,76 дБ), отношение в децибелах примерно равно 2,05. Расстояние между излучателем и приемником равно 8 м, следовательно, усредненная удельная оптическая плотность в ИК диапазоне при формировании сигнала «Пожар» равнялась 0,095 дБ/м (2,2%/м). Таким образом линейный извещатель выдержал испытания по тестовому очагу ТП-5А для аспирационных извещателей высокой чувствительности класса А, поскольку активировался при удельной опти-

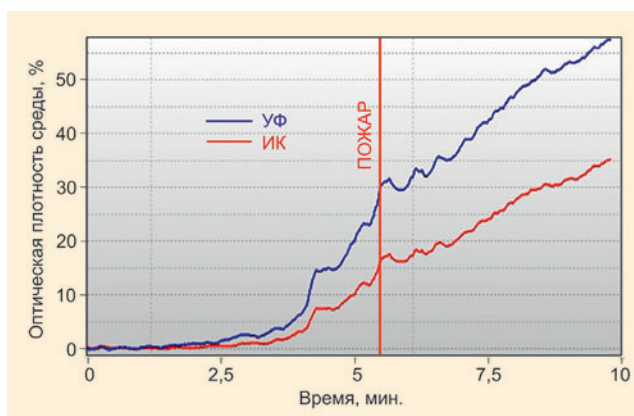


Рис. 6. Испытания по тестовому очагу ТП-5А

ческой плотности менее 0,1 дБ/м. На 10-й минуте развития очага оптическая плотность достигла в УФ диапазоне величины 57,4% (3,71 дБ) и 35% (1,87 дБ) в ИК диапазоне, отношение в децибелах примерно равно 1,98. Максимальная оптическая плотность при этом испытании была зафиксирована через 686 сек. на уровне 63,8% (4,41 дБ) в УФ диапазоне и на уровне примерно 40% (2,22 дБ) в ИК диапазоне, отношение затухания в УФ и ИК диапазонах при измерении в децибелах равно 1,99.

Необходимо отметить, что точечные дымовые извещатели при такой удельной оптической плотности не срабатывают, они проходят испытания по тестовому очагу ТП-5, в 10 раз большему по площади, размером 330х330 мм и при отсутствии циркуляции воздуха, когда дым концентрируется под перекрытием. При испытании по ТП-5 точечные дымовые извещатели должны активироваться при удельной оптической плотности не более 1,24 дБ/м или 24,8 %/м. При равномерном задымлении затухание на расстоянии 8 метров составит 9,92 дБ или 89,8 %. Точечные СО газовые извещатели не в состоянии обнаружить даже очаг ТП-5, поскольку ко времени окончания теста концентрация монооксида углерода не может превышать величину 16 ppm [7], а порог срабатывания стандартных ИПГ СО по ГОСТ Р 53325-2012 [6] определен в пределах от 25 ppm до 100 ppm.

ТЕСТОВАЯ ДЫМОВАЯ ШАШКА

В первой части статьи были приведены результаты воздействия на линейный дымовой извещатель УФ + ИК аэрозоли для тестирования точечных извещателей. Аэрозоль распылялась вдоль оптической оси линейного извещателя. При этом отмечалось практически одинаковое ослабление сигналов в УФ и ИК диапазонах. Следовательно, размер частиц тестовой аэрозоли значительно больше частиц дыма, что не позволяет ее использовать для тестирования 2-диапазонных извещателей. Более достоверные результаты дает испытание с тестовой дымовой шашкой. При проведении испытаний дымовая шашка весом

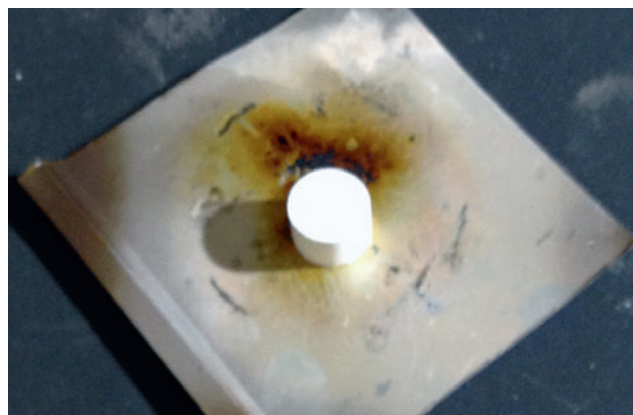


Рис. 7. Тестовая дымовая шашка весом 13 г

13 г располагалась на поверхности поддона из жести (рис. 7). По данным производителя одна такая дымовая шашка за 40 с обеспечивает задымление объема 18 м³. Процесс выделения дыма заканчивается через 70-80 сек (рис. 8).

Испытание проводилось при выключенном устройстве циркуляции воздуха и без использования электроплитки для создания конвекционного потока. Вследствие этого, после резкого увеличения оптической плотности под потолком наблюдалось ее быстрое снижение из-за оседания дыма. На рисунке 9 показано изменение оптической плотности среды вдоль луча 2, по диагонали тестового помещения, на рисунке 10 – вдоль луча 1, вдоль стены тестового помещения (рис. 2).

По второму лучу максимальный уровень затухания в УФ диапазоне был зафиксирован равный 96,3%, в ИК диапазоне около 69%, в децибелах это 14,3 дБ и 5,1 дБ, отношение равно примерно 2,8. В дальнейшем величина этого отношения слабо изменяется и лежит в пределах 2,77-2,92, за исключением временного участка с минимальными уровнями плотности среды, где его величина увеличивается до 3,15.

По первому лучу максимальный уровень затухания в УФ диапазоне был зафиксирован равный 97,3%, в ИК диапазоне около 73%, в децибелах это 15,7 дБ и 5,69 дБ, отношение равно примерно 2,76. На временном участке с минимальными уровнями плотности среды отношение примерно равно 2,86.

Таким образом, можно сделать заключение, что тестовая дымовая шашка вырабатывает дым, который достаточно хорошо имитирует дымы от тестовых очагов по размеру частиц в отличие от тестового аэрозоля. Для имитации стандартного очага при тестировании пожарных извещателей для формирования конвекционного потока рекомендуется устанавливать дымовую шашку на нагретую электроплитку. При горении дымовой шашки тепло практически не выделяется и дым не концентрируется в верхней части помещения, а быстро оседает вниз и слоями заполняет среднюю часть помещения (рис. 11).

Рис. 8. Тестовый очаг – дымовая шашка



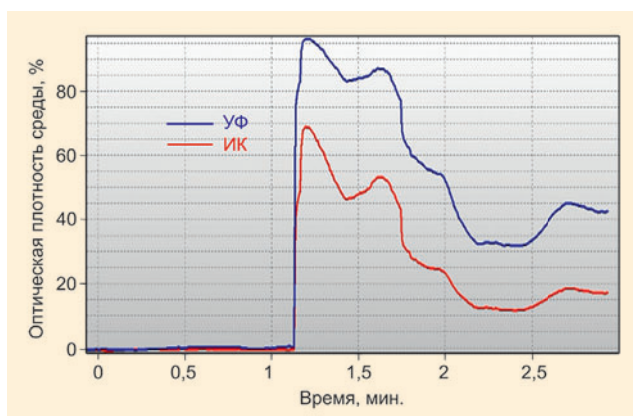


Рис. 9. Испытания по тестовому очагу «дымовая шашка» (луч 2)

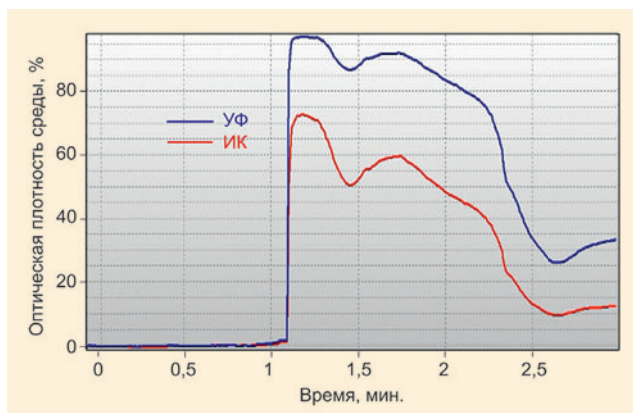


Рис. 10. Испытания по тестовому очагу «дымовая шашка» (луч 1)

ДВУХДИАПАЗОННЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ ЛИНЕЙНЫЕ И ТОЧЕЧНЫЕ

Результаты экспериментальных исследований, проведенные с точечными двухдиапазонными извещателями [8, 9], показывают большую зависимость отношения уровня сигналов от синего (470 нм) светодиода и от ИК (945 нм) светодиода с изменением размера частиц дыма. Максимальное отношение, примерно равное 5, наблюдается в тесте TF1 – открытое горение дерева, отношение 4,5 – в тесте TF3 – тление хлопка, отношение примерно 3,3 в тестах TF4 и TF5 – горение пенополиуретана и горение н-гептана, минимальное отношение около 2 наблюдается в тесте TF2 – тление дерева (рис. 12).

Рис. 11. Распределение дыма в помещении через 5 мин. после окончания теста

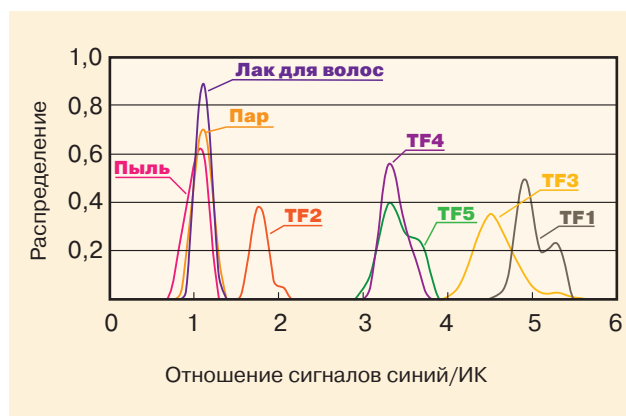


Рис. 12. Отношение сигналов в синем и ИК диапазонах точечного детектора при тестовых очагах TF1 – TF5 и при воздействии пара, пыли и бытовой аэрозоли

В линейном дымовом детекторе максимальное отношение сигналов в УФ и в ИК диапазонах в тесте ТП-1 – открытое горение дерева было зафиксировано 3,25-3,45, в тесте TF3A – тление хлопка отношение было около 3, в тесте TF2A – тление дерева отношение было в пределах 2-2,4, а минимальное отношение около 2 наблюдалось в тесте TF5 – горение н-гептана.

При воздействии частиц больших размеров, например, при воздействии бытовых аэрозолей и тестового аэрозоля для дымовых извещателей и в точечных, и в линейных извещателях отношение было равно 1.

ВЫВОД

Использование двухдиапазонных технологий в линейном дымовом извещателе, как и в точечном дымовом извещателе, обеспечивает идентификацию дыма по размеру частиц и дает возможность исключить ложные тревоги от пыли, пара, аэрозолей, птиц, насекомых, при блокировке луча различными предметами, механизмами и при деформации строительных конструкций. Кроме того, использование сигналов ультрафиолетового диапазона позволяет в 2-3 раза повысить чувствительность линейного извещателя по дыму в сравнении с линейным извещателем инфракрасного диапазона. Применение в качестве приемника линейного извещателя CMOS-камеры обеспечивает пространственное разрешение сигналов нескольких излучателей и исключает влияние помеховых отражений от конструкций, расположенных вблизи оптической оси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неплохов И. УФ + ИК в линейном дымовом извещателе. Результаты экспериментальных исследований // Алгоритм безопасности. 2016. № 1.
2. Неплохов И. Развитие линейных дымовых извещателей: три технологических этапа // Системы безопасности. 2016. № 1.
3. Неплохов И. Двухдиапазонные технологии в пожарных извещателях // Технологии защиты. 2012. № 3.
4. Неплохов И. Уникальные пожарные извещатели // Системы безопасности. 2012. № 3.
5. Матвеев А. Н. Оптика. М.: Высшая школа, 1985.
6. ГОСТ Р 53325-2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний.
7. ISO/TS 7240-9:2006, Fire detection and alarm systems – Part 9: Test fires for fire detectors.
8. Сулим Т. Двухдиапазонные дымовые извещатели – новый уровень точности обнаружения // Алгоритм безопасности. 2010. № 5.
9. SEEING THE LIGHT – Dual Optical Detectors // Fire Safety Engineering. 2005. May.