

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, схемотехнических 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.

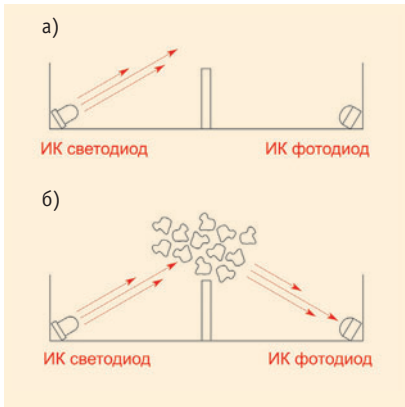


Рис. 1. Принцип действия точечного дымового извещателя

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).

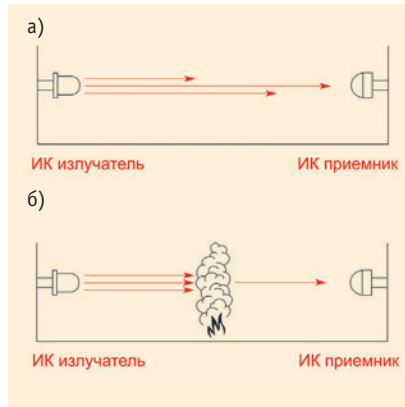


Рис. 2. Принцип действия линейного дымового извещателя

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)

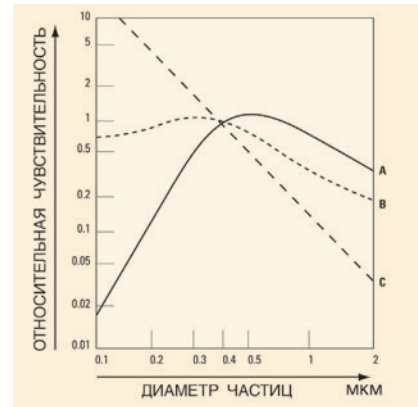


Рис. 3. Относительная чувствительность детекторов в зависимости от размера частиц дыма. А – оптический точечный, В – оптический линейный, С – ионизационный

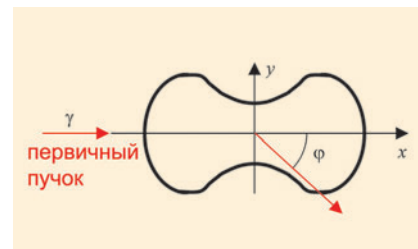


Рис. 4. Рассеяние света на частицах значительно меньших длины волны

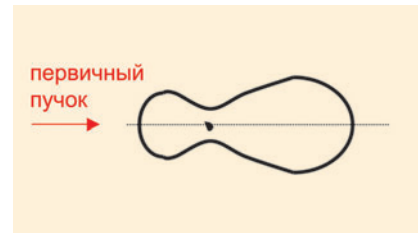


Рис. 5. Рассеяние света на частицах примерно равных 1/2 длины волны

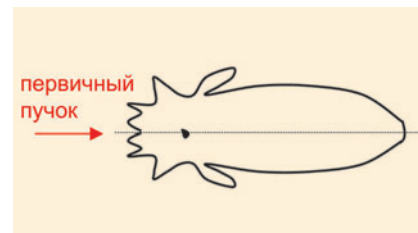
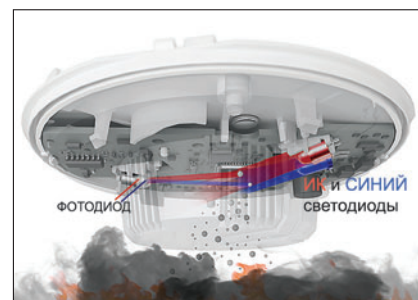


Рис. 6. Рассеяние света на частицах примерно в 2 раза больших длины волны

Рис. 7. Инфракрасный и синий светодиоды в дымовой камере



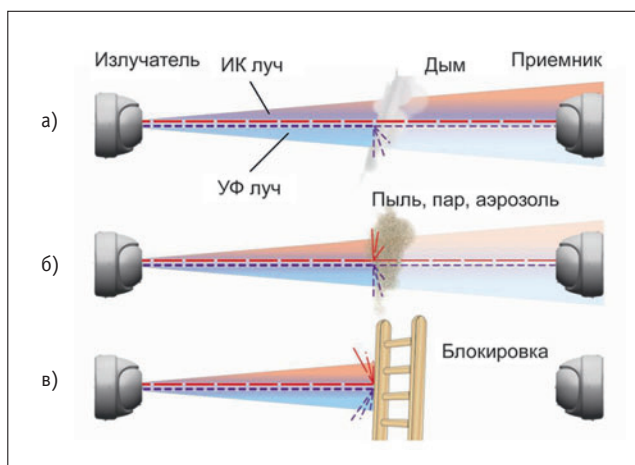


Рис. 8. Ослабление УФ и ИК сигналов при прохождении а) через дым; б) через пыль; в) при блокировке сигналов

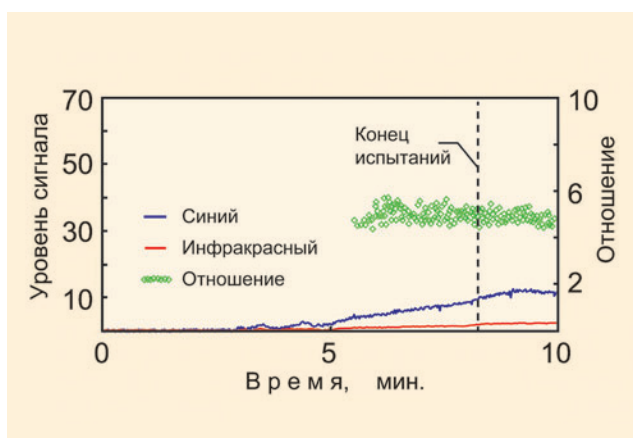


Рис. 9. Сигналы в синем и инфракрасном диапазонах и их отношение при очаге TF1

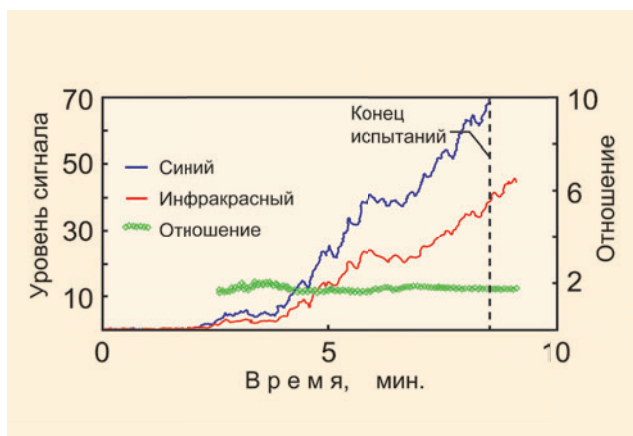


Рис. 10. Сигналы в синем и инфракрасном диапазонах и их отношение при очаге TF2

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 TF1 – горение древесины и TF2 – 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 50x50 см и состоит из 70 брусков размером 10x20x250 мм (общий объем древесины 3500 см³), уложенных в 7 слоев. В данном эксперименте использовался очаг размером 9x9 см, который состоял из 13 буковых брусков размером 18x20x85 мм (общий объем древесины 400 см³), уложенных в 5 слоев. Т.о., 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

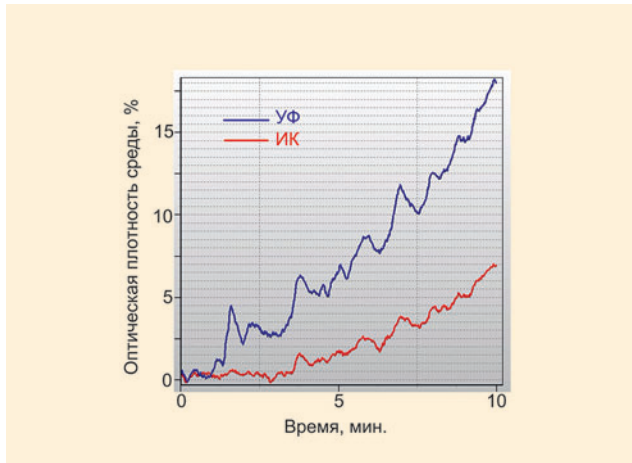


Рис. 12. Испытания по тестовому очагу ТП-1, уменьшенному в 10 раз

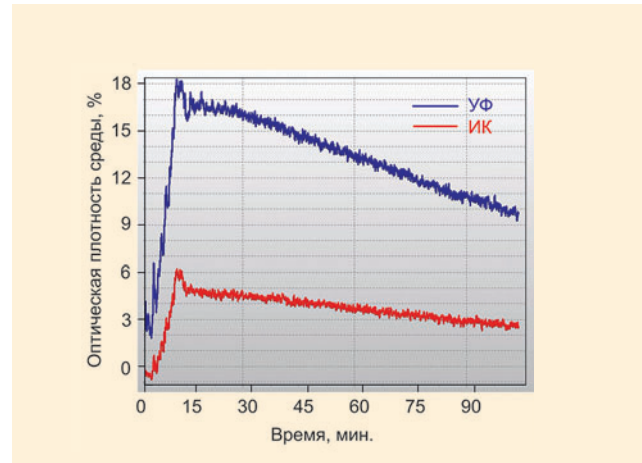


Рис. 13. Изменение оптической плотности среды после окончания теста

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 40x20x20 мм и включенным устройством рециркуляции воздуха. Стандартный тестовый очаг для испытаний точечных дымовых извещателей ТП-2 состоит из 10 буковых брусков размером 75x25x20 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:

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

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

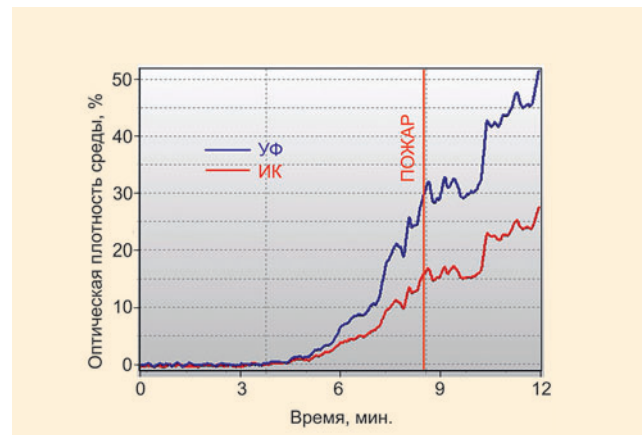


Рис. 15. Испытания по тестовому очагу ТП-2, уменьшенному в 18 раз

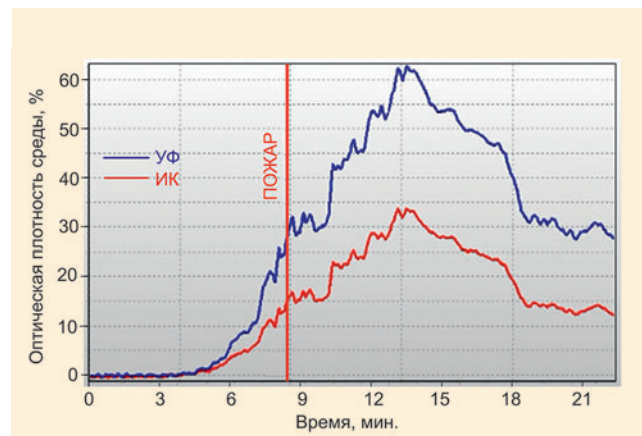


Рис. 16. Оптическая плотность среды в начале и конце теста

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





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

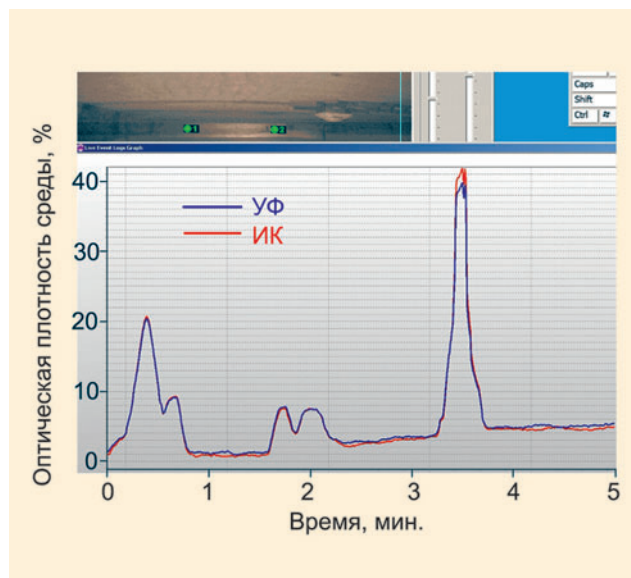


Рис. 18. Результат тестирования аэрозолем

$m = 1,8 \text{ дБ}/8 \text{ м} = 0,225 \text{ дБ}/\text{м}$. 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 меньше 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.