

**И.Г. Неплохов**Технический директор компании
"Центр-СБ"

В отличие от тепловых извещателей дымовые реально защищают жизнь людей, обнаруживая пожароопасную ситуацию еще до заполнения основной части помещения дымом и угарным газом. Хорошо известны и недостатки оптических дымовых извещателей – это ложные срабатывания от пыли, пара, аэрозолей и т.д. Для нейтрализации этих воздействий используются дополнительные сенсоры (например, контролирующие концентрацию угарного газа, изменение температуры), что значительно повышает стоимость извещателя. В аспирационных извещателях с этой целью устанавливаются дополнительные фильтры с ячейкой порядка 30 мк. Однако существует значительно более дешевое техническое решение, которое не только защищает дымовой извещатель от ложных срабатываний, но и, в отличие от мультисенсорных технологий, одновременно устраняет другой недостаток – повышает его чувствительность к "черным" дымам до уровня радиоизотопного извещателя. Этот способ основан на зависимости уровня рассеянного сигнала от диаметра частиц и от длины волны излучателя, при использовании в оптопаре двух излучателей с различными длинами волны.

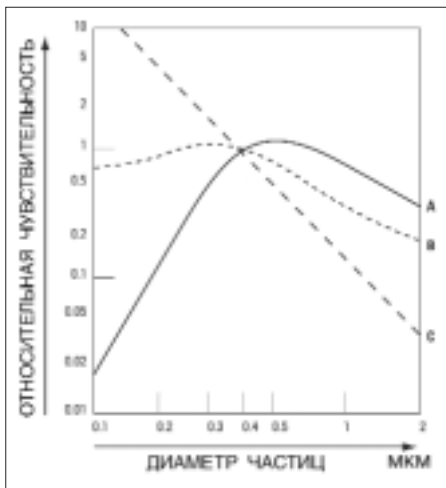


Рис. 1. Относительная чувствительность детекторов в зависимости от размера частиц дыма. Способы детектирования: А – рассеяние света, В – затухание света, С – ионизационный

Двухдиапазонные дымовые пожарные извещатели

Дымовые оптико-электронные пожарные извещатели широко используются для защиты от пожара. Они обеспечивают раннее обнаружение пожара на этапе тления очага

Свойства дымов различного типа

Дым состоит из видимых и невидимых частиц различного размера, структура дыма зависит от вида очага и условий окружающей среды. В зависимости от реализованного физического процесса обнаружения, схемотехнических и конструктивных особенностей дымовые пожарные извещатели имеют неодинаковую чувствительность к дымам различных типов. Линейные оптико-электронные детекторы, использующие технологию затухания света при прохождении через контролируемую зону, определяют как видимые, так и невидимые частицы. Их чувствительность достаточно стабильна по отношению к изменению размеров частиц дыма. Радиоизотопные детекторы, определяющие наличие дыма посредством ионизации молекул воздуха в дымовой камере, имеют линейную, обратно пропорциональную зависимость чувствительности от размера частиц. Наиболее чувствительны такие детекторы к присутствию очень мелких (от 10 нм) невидимых частиц, они реагируют даже на изменение влажности воздуха, из-за чего приходится вводить дополнительную компенсационную камеру. Объясняется это тем, что при постоянной массе частиц, но с уменьшением их размера, увеличивается суммарная поверхность частиц, на которой происходит рекомбинация ионов, и соответственно на большую величину снижается ионизационный ток, протекающий через камеру. Оптико-электронные детекторы, использующие технологию рассеянного света [1], имеют максимальную чувствительность по дымам, размер частиц которых (0,5–1 мк) соизмерим с длиной волны. На рис. 1 показан относительный уровень чувствительности детекторов, использующих три названных выше способа дымоопределения, в зависимости от диаметра частиц, при условии постоянства их суммарной массы [2].

Считается, что размер частиц дыма варьируется в пределах от 0,1 мк в диаметре (частицы такого размера преобладают в горящем пламени) до частиц, которые могут быть крупнее на порядок и более, что является характеристикой очага в беспламенной стадии горения [3].

Фактический размер частиц зависит от совокупности многих данных, например: от физического состава очага, концентрации кислорода в воздухе, характера газообмена и от других параметров окружающей среды, особенно от влажности. Более того, размер частиц дыма с течением времени изменяется, по мере охлаж-

дения газа частицы размером меньше микрона соединяются друг с другом, а самые крупные частицы выпадают в осадок. Другими словами, при удалении дыма от очага в распределении размера частиц наблюдается относительное снижение числа частиц минимального размера. Частицы пара, бытовых аэрозолей и пыли имеют значительно большие размеры. Известны эффективные технические решения, в которых для защиты точечных дымовых извещателей от пыли и пара используются фильтры с ячейкой около 30 мк.

При тлеющих пожарах с участием углеродосодержащих материалов в основном выделяются серые дымы с размером частиц, соизмеримым с 1 мкм, при горении пластмасс и горючих жидкостей образуются аэрозоли с меньшими размерами частиц. Тестовые очаги, дающие спектр дымов, достаточно широко определены в европейских стандартах EN 54-7, EN 54-12, EN 54-20 и т.д., использующихся для сертификационных испытаний дымовых детекторов. Эти тестовые очаги также приведены в ГОСТ Р 50898–96 "Извещатели пожарные. Огневые испытания". Определено шесть тестовых очагов: TF1 – горение древесины, TF2 – тление древесины, TF3 – тление хлопка, TF4 – горение пенополиуретана, TF5 – горение N-гептана, TF6 – горение спирта. Испытания проводятся в помещении площадью 70 м², высотой 4 м. В стандартах определены не только состав и размеры очагов, но и способы их активизации, что позволяет обеспечить повторяемость результатов. Тестовые очаги имеют малые размеры и имитируют начальную стадию развития пожара. На рис. 2 приведены номограммы для тестовых очагов TF1 – TF6, характеризующие соотношение в составе дымов невидимых частиц малого размера, видимых частиц крупного размера и степень выделения тепла [4]. Дымы тлеющих очагов TF2 и TF3 содержат значительную часть крупных частиц, дымы очагов с открытым пламенем в основном состоят из частиц меньшего размера. При горении спирта дым практически не выделяется, и тестовый очаг TF6 при испытаниях дымовых пожарных извещателей не используется.

Физическая модель оптического извещателя

В дымовых оптико-электронных извещателях используется оптопара – светодиод и фотодиод, расположенные в дымовой камере таким образом, что при отсутствии дыма на фотодиод

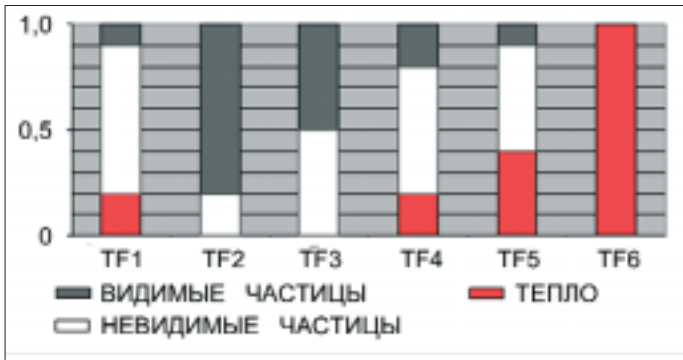


Рис. 2. Соотношение различных факторов при различных тестовых очагах

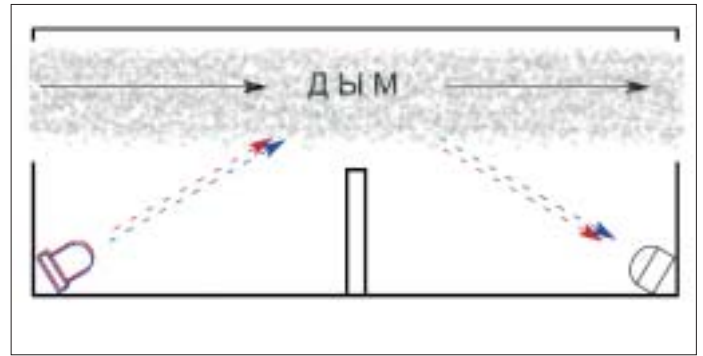


Рис. 3. Принцип действия оптического извещателя

попадает минимальный уровень сигнала. При появлении дыма сигнал фотодиода резко увеличивается за счет рассеяния излучения светодиода на частицах дыма (рис. 3).

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 [1]. По закону Рэлея 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. Теорию рассеяния при больших размерах частиц развил немецкий физик Густав Ми в 1908 г. Этот вид рассеяния, названный по его имени "рассеянием Ми", существенно отличается от рэлеевского рассеяния. С увеличением относительного размера частиц появляется асимметрия рассеяния, увеличивается рассеяние, направленное вперед.

При дальнейшем увеличении относительных размеров частиц происходит существенное изменение диаграммы. Она еще больше вытягивается вперед и становится изрезанной по другим направлениям, появляются боковые максимумы. В дымовых оптических извещателях традиционно используются светодиоды инфракрасного диапазона с длиной волны порядка 950 нм, с расположением оптических осей под углом порядка 120° . Соответственно изрезанность диаграммы в этом случае будет отсутствовать при наличии дыма с частицами размером порядка 0,5 мк.

При больших размерах частиц дыма диаграмма рассеяния становится более узкой, и уровень сигнала в направлении фотодиода снижается.

Синий светодиод в дымовом извещателе

В 1990 г. японский изобретатель Судзи Накамура из корпорации Nichia Chemical Industries изобрел дешевый синий светодиод, и к 1993 г. был начат индустриальный выпуск таких светодиодов. Длина волны синего светодиода равна 470 нм, то есть она в два раза меньше длины волны инфракрасного светодиода. Соответственно использование синих светодиодов в оптопаре позволяет обнаруживать более мелкие частицы дыма, для выявления которых ранее применялись радиоизотопные извещатели. В этом случае кривая чувствительности на графике рис. 1 сместится влево, и максимум будет располагаться в районе дымов с размерами частиц порядка 235 нм (0,235 мк). Кроме того, при анализе соотношения уровня рассеянного света одновременно в инфракрасном и в синем диапазонах появилась возможность оценить размеры частиц в диапазоне примерно от 0,2 до 1 мк. На рис. 7 приведено соотношение уровня рассеяния излучения синего и инфракрасного светодиодов, полученное в оптической камере при использовании частиц полистирола различного размера. Интенсивность рассеяния синего света мелкими частицами размером менее 0,2 мк в 15 раз выше интенсивности рассеяния инфракрасного света. С увеличением размера частиц это отношение уменьшается и при размере частиц около 1 мк стабилизируется на минимальном уровне [5].

Используя этот эффект одна из японских корпораций предложила простой способ защиты

дымового извещателя от воздействия пара и пыли. Был разработан так называемый двухдиапазонный оптический пожарный извещатель: в дымовой камере дополнительно установили синий светодиод под тем же углом относительно фотодиода, что и инфракрасный светодиод. Производилось измерение сигнала фотодиода при излучении синего светодиода и при излучении инфракрасного светодиода. Далее производилась обработка результатов измерений.

Результаты экспериментальных исследований

Были проведены испытания двухдиапазонного оптического извещателя на тестовые очаги TF1, TF2, TF3, TF4, TF5 и на воздействие пыли и пара [5]. На рис. 5, 6 для примера приведены уровни отражения от синего и инфракрасного светодиодов и их отношение при очагах TF1 – горение древесины и TF2 – тление древесины. Отношение сигналов на выходе фотодиода при включении синего и инфракрасного светодиодов в процессе испытаний практически не изменялось и находилось в первом случае в районе 5, во втором – в районе 2.

Необходимо также отметить, что обнаружение дыма при открытом горении дерева в синем диапазоне происходит значительно раньше, чем в инфракрасном, что показывает существенно большую эффективность оптических извещателей синего диапазона для обнаружения очагов открытого пламени, по сравнению с традиционными инфракрасными извещателями.

На рис. 7 приведены данные о соотношении сигналов в синем и инфракрасном диапазонах при проведении тестов с очагами TF1, TF2, TF3, TF4, TF5, а также при воздействии пара, пыли и бытовых аэрозолей (например, лак для волос),

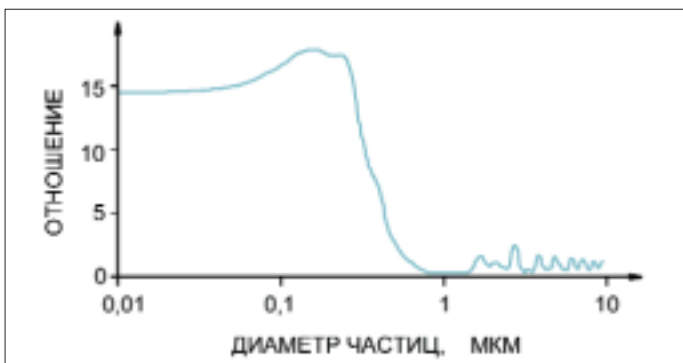


Рис. 4. Отношение рассеяния синего света к инфракрасному в зависимости от размера частиц

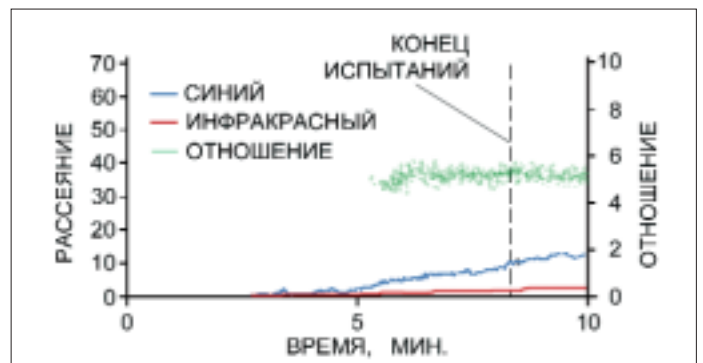


Рис. 5. Сигналы в синем и инфракрасном диапазонах и их соотношение при очаге TF1

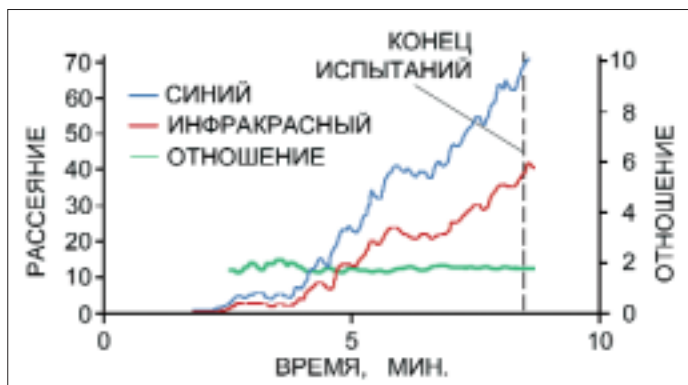


Рис. 6. Сигналы в синем и инфракрасном диапазонах и их соотношение при очаге TF2

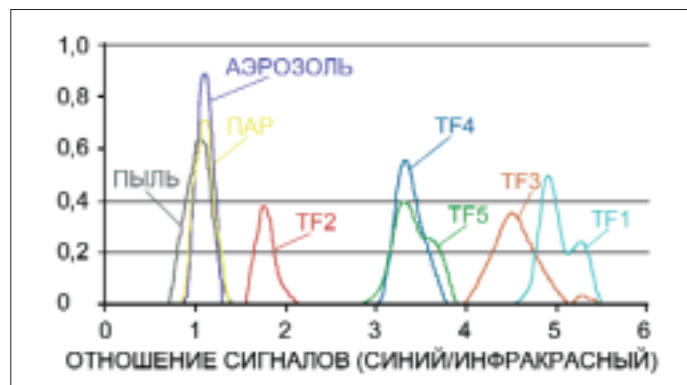


Рис. 7. Статистика отношения сигналов в синем и инфракрасном диапазонах (при тестовых очагах TF1 – TF5 и при воздействии пара, пыли и бытовых аэрозолей)

которые являются основными причинами формирования ложных тревог оптическими извещателями. В зависимости от типа очага были получены различные значения отношения сигналов в синем и инфракрасном диапазонах, однако в наихудшем случае для очага TF2 минимальное отношение составило около 2, а при воздействии частиц, не связанных с пожаром, оно примерно равно 1. Это объясняется тем, что размер частиц пара, пыли и аэрозоли превышает длину волны синего и инфракрасного светодиодов.

Данные результаты показывают возможность идентификации вида воздействия в двухдиапазонном оптическом извещателе. Порог для разделения дымов и других воздействий, не связанных с пожаром, был установлен на уровне 1,4.

Если отношение сигналов превышает 1,4, извещатель формирует сигнал "Пожар", если не превышает 1,4 – сигнал "Пожар" не формируется.

Дальнейшим развитием алгоритма обработки результатов измерений в двухдиапазонном оптическом извещателе стало использование канала синего диапазона для выравнивания показателей чувствительности извещателей, которые они демонстрируют в ходе тестирования с применением очагов с открытым пламенем и тлеющих очагов, а также введение дополнительного порога для выявления очагов с открытым пламенем и компенсации для получения чувствительности на уровне ионизационного извещателя, а кроме того, введение компенсации запыления по каждому каналу.

Литература

1. Матвеев А.Н. Оптика. – М.: Высшая школа, 1985. – 351 с., илл.
2. Richard W. Bukowski. Smoke Measurements In Large and Small Scale Fire Testing, NBS IR78-1502.
3. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. Пер. с англ. К.Г. Бомштейна. Под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.: илл.
4. Стив Скорфилд. Мировые тенденции развития рынка пожарных извещателей. Журнал "Системы безопасности", 2004, № 1, Изд-во "Гротек".
5. Dual Optical Detectors. Fire Safety Engineering. May 2005.

Ваше мнение и вопросы по статье направляйте на ss@groteck.ru