

Развитие дымовых извещателей

Игорь Неплохов
к.т.н., эксперт

В настоящее время дымовые пожарные извещатели широко используются для защиты людей и имущества от пожара. С 2001 года в НПБ 110 «Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией» определен широкий круг объектов, которые «при применении автоматической пожарной сигнализации следует оборудовать дымовыми пожарными извещателями». Они обеспечивают раннее обнаружение пожара на этапе тления очага, до заполнения основной части помещения дымом и угарным газом, реально защищают жизнь людей и материальные ценности. Поэтому на сегодняшний день именно дымовые пожарные извещатели являются самыми распространенными в мире.

Оптические, радиоизотопные и линейные дымовые извещатели

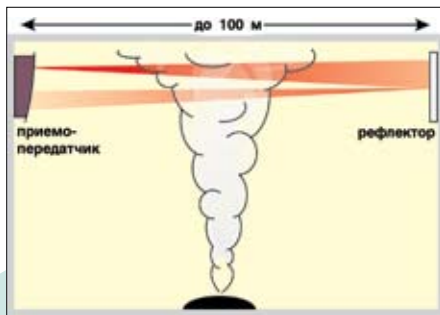


Рис. 1 Принцип действия линейного извещателя

С точки зрения понимания принципа действия, простейшим дымовым извещателем, наверное, является дымовой линейный извещатель, который непосредственно определяет уровень затухания инфракрасного излучения на всем протяжении контролируемого помещения. Инфракрасный диапазон обычно используется для упрощения защиты от влияния источников света. Повышение энергетики и снижение тока потребления достигается за счет формирования достаточно узкого луча, как в прожекторе, и при использовании импульсных сигналов с большой скважностью, порядка 1000. Состоит линейный извещатель из приемника и передатчика, либо из приемо-передатчика и рефлектора со свойствами катафота, расположенных на противоположных стенах в верхней части помещения (рис 1). Относительно уровня сигнала в условиях чистой среды определяется величина затухания сигнала при задымлении. Сигнал пожар формируется при достижении определенного уровня поглощения оптического сигнала задымленным участком среды по линии обнаружения, протяженность которой может достигать 100 м и более.

По требованиям НПБ 82-99 «Извещатели пожарные дымовые оптоэлектронные линейные. Общие технические требования. Методы испытаний», чувствительность линейного дымового извещателя должна устанавливаться в пределах от 0,4 дБ (снижение интенсивности луча на 9%) до 5,2 дБ (снижение интенсивности луча на 70%). Измерение затухания в децибелах дБ по логарифмической шкале имеет свои преимущества по сравнению с процентами и «разами», используется в радиотехнике, электроакустике и других науках. Снижение сигнала в 2 раза соответствует затуханию на 3 дБ, в 4 раза – на 6 дБ, в 10 раз – на 10 дБ, в 100 раз – на 20 дБ, т.е. если «разы» перемножаются, то децибелы складываются, что намного удобнее для вычислений. Снижению сигнала на Δ(%) соответствует ослабление на величину L дБ:

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

Для перевода из одних единиц в другие можно воспользоваться **Таблицей 1**.

Таблица 1. Затухание сигнала в процентах и в децибелах

%	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
дБ	0,223	0,458	0,706	0,969	1,249	1,549	1,871	2,218	2,596	3,00
%	55	60	65	70	75	80	85	90	95	99
дБ	3,468	3,979	4,559	5,229	6,021	6,99	8,239	10,00	13,00	20,00

Оптические точечные дымовые извещатели содержат дымовую камеру со светодиодом обычно инфракрасного диапазона, работающем в импульсном режиме, и фотодиодом. Дымовая камера черного цвета и сложной геометрической формы, а также свето- и фотодиоды с узкими диаграммами обеспечивают минимальный фоновый сигнал фотодиода в оптически чистой среде. Когда в камере появляются частицы дыма, часть излучения отражается от них и попадает на фотодиод. При увеличении уровня сигнала на выходе фотодиода до пороговой величины формируется сигнал «Пожар». Естественно, уровень сигнала, отраженного от частиц дыма зависит от длины волны светодиода, размера частиц, угла между оптическими осями светодиода и фотодиода.

В отличие от линейных дымовых извещателей чувствительность точечных дымовых оптических извещателей выражается не в абсолютных единицах затухания, а в удельных единицах дБ/м:

$$m_o = 10 \lg (P_o / P), \text{ где}$$

- d** - оптическая длина пути луча измерителя, м;
- P_o** - мощность излучения, прошедшего через не задымленную среду;
- P** - мощность излучения, ослабленного задымленной средой.

Значение чувствительности пороговых оптических точечных пожарных извещателей, по НПБ 65-97, должно находиться в пределах 0,05...0,2 дБ/м. Это незначительный уровень задымления, в процентах данные значения соответствуют затуханию от 1,16% до 4,5% на дистанции в 1 м или от 11% до 37% на дистанции в 10 м. Для сравнения чувствительность линейного извещателя также можно перевести в удельные единицы, предполагая равномерное задымление или рассматривая полученную величину как усреднен-

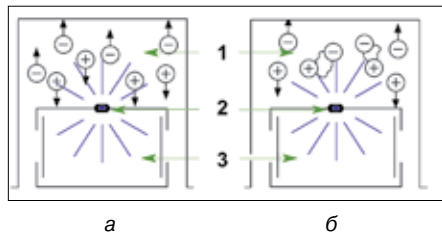


Рис. 2 Принцип действия дымового радиоизотопного извещателя

1 – дымовая камера; 2 – радиоактивный источник; 3 – компенсационная камера

ное значение. Например, при расстоянии между приемником и передатчиком 100 м, границам чувствительности от 0,4 дБ до 5,2 дБ будут соответствовать пределы от 0,004 дБ/м до 0,052 дБ/м, а при расстоянии 10 м - от 0,04 дБ/м до 0,52 дБ/м. Исходя из этого, в линейных извещателях обычно предусматривают регулировку чувствительности в допустимых пределах, более высокую чувствительность устанавливают при их использовании в помещениях небольших размеров и меньшую - в протяженных зонах.

Радиоизотопные дымовые извещатели в настоящее время, по известным причинам, распространены значительно меньше. Они используют слабый источник радиоактивности для ионизации молекул воздуха в дымовой камере, например, незначительное количество изотопа Америция в герметизированном корпусе. Положительные и отрицательные ионы под действием постоянного напряжения, приложенного к электродам, расположенным в дымовой камере, создают электрический ток определенной величины (рис. 2а). При возникновении пожара в камеру проникают частицы дыма. Значительная часть противоположно заряженных ионов притягивается к частицам дыма и нейтрализуется (рис. 2б). Соответственно, уменьшается величина тока, протекающего через дымовую камеру. Падение тока ниже установленного порогового уровня вызывает формирование сигнала «Пожар». Радиоизотопный извещатель наилучшим образом реагирует на более мелкие частицы, так как чем меньше размер частиц, тем больше их суммарная площадь поверхности и большее число ионов они способны рекомбинировать.

Характеристики различных дымов

Различные виды дымовых извещателей не одинаково реагируют на разные типы дымов. Обычно считается, что размер частиц дыма варьируется, начиная от диаметра меньше микрона, преобладающих в горящем пламени, и до частиц, которые крупнее на порядок и более, что является характеристикой очага в беспламенной стадии горения при тлении материалов. Фактический размер частиц зависит от большой совокупности переменных, например, от физического состава очага, наличия кислорода, в том числе в воздухе, газообмена и от других характеристик окружающей среды, особенно от влажности. Более того, размер частиц дыма не постоянен, по мере охлаждения газа, частицы размером меньше микрона соединяются друг с другом, и самые крупные частицы выпадают в осадок. Другими словами, при удалении дыма от очага в распределении размера частиц наблюдается относительное снижение числа частиц наименьшего размера. Этот эффект проявляется, например, при прохождении дыма через воздуховоды. При тлеющих пожарах с участием углеродосодержащих материалов в основном выделяются серые дымы с частицами, величина которых соизмерима с 1 мкм. При горении пластмасс и горючих жидкостей наблюдается большая концентрация прозрачной аэрозоли с еще меньшими размерами частиц.

Радиоизотопные извещатели, определяющие наличие дыма посредством иони-

зации молекул воздуха в дымовой камере имеют линейную, обратно пропорциональную зависимость чувствительности от размера частиц. Они наиболее чувствительны к присутствию очень мелких, невидимых частиц размером начиная с 10 нм. Радиоизотопные извещатели реагируют даже на изменение влажности воздуха, из-за чего в них приходится вводить дополнительную компенсационную камеру (рис. 2). Такие дымы выделяются обычно при горении пластика, изоляции кабеля, легко воспламеняющихся жидкостей, но т.к. наряду с большим количеством невидимых частиц выделяется и некоторое количество «черного дыма» имеется устойчивое заблуждение, что радиоизотопные извещатели обнаруживают именно «черный дым». По той же причине радиоизотопные извещатели, в отличие от оптических извещателей, практически не реагируют на пыль ввиду большого размера ее частиц. Точечные оптико-электронные извещатели имеют максимальную чувствительность по «серым» дымам с видимыми частицами размером порядка 0,5 - 1 микрона, т.е. соизмеримым с длиной волны светодиода. Линейные детекторы, использующие технологию затухания света, определяют как видимые, так и невидимые частицы дыма, что определяет их преимущество по сравнению с другими типами дымовых извещателей. На рис. 3 показан относительный уровень чувствительности этих трех способов дымоопределения в зависимости от диаметра частиц, при условии постоянства их суммарной массы.

Достаточно широко спектр дымов определен тестовыми очагами по европейским стандартам EN 54-7, EN 54-12, EN 54-20, использующимся для сертификационных испытаний дымовых детекторов во многих странах. Аналогичные испытания могут проводиться по 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 очага, но и способы их активизации, что позволяет обеспечить повторяемость и сравнимость результатов испытаний, проведенных в различных испытательных центрах и в различное время. Тестовые очаги имеют малые размеры и имитируют начальную стадию развития пожара. На рис. 4 для тестовых очагов TF1 – TF6 приведены номограммы характери-

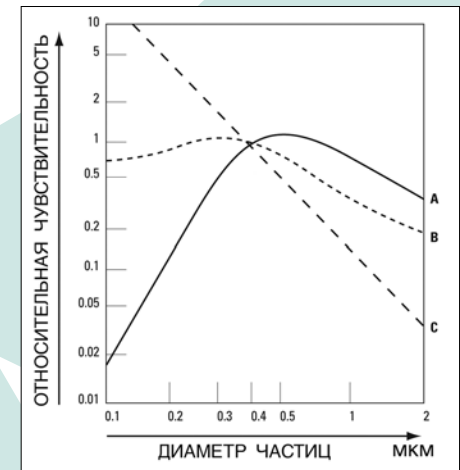


Рис. 3 Относительная чувствительность извещателей в зависимости от размера частиц дыма. А – оптический, В – линейный, С – радиоизотопный. (Источник: NBS IR78-1502, "Smoke Measurements In Large and Small Scale Fire Testing," by Richard W. Bukowski)

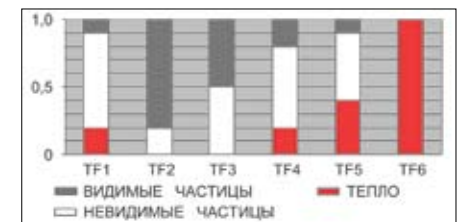


Рис. 4 Соотношение различных факторов при тестовых очагах

зующие соотношение в составе дымов невидимых частиц малого размера, видимых частиц крупного размера и степень выделения тепла. Дымы тлеющих очагов TF2 и TF3 содержат значительную часть крупных частиц, дымы очагов с открытым пламенем в основном состоят из невидимых аэрозолей. При горении спирта дым практически не выделяется и тестовый очаг TF6 при испытаниях дымовых пожарных извещателей не используется. Любой точечный дымовой извещатель, вне зависимости от способа обнаружения дыма по европейскому стандарту EN 54-7 должен обнаруживать тестовые очаги TF2 – TF5 при удельной оптической плотности в месте его установки не более 2 дБ/м.

Таким образом, основной недостаток точечных дымовых извещателей, оптических и радиоизотопных – это зависимость их чувствительности от размера частиц дыма. Эффективное обнаружение дымов различного типа обеспечивает использование комбинации оптического и радиоизотопного извещателей. Отдельно оптический извещатель хуже обнаруживает открытые очаги загорания пластика и горючих жидкостей, а именно эти очаги, в отличие от тлеющих пожаров, наиболее быстро распространяются и требуют минимального времени обнаружения. Так, при тестовых очагах TF4 – горение пенополиуретана и TF5 – горение N-гептана граничные условия достигаются соответственно через 140 – 180 с и через 120 – 240 с, а при тестовых очагах TF2 – тление древесины и TF3 – тление хлопка – достигаются соответственно через 750 – 840 с и через 280 – 750 с. Следовательно, необходимо обеспечить повышение чувствительности оптического извещателя по дымам с мелкими частицами до уровня радиоизотопного извещателя. Кроме того, хорошо известны недостатки оптического извещателя заключающиеся в формировании ложных сигналов при воздействии на него пара, бытовых аэрозолей, пыли и т.д.. Обе эти проблемы были успешно решены несколько лет назад специалистами японской корпорации Nittan Group в процессе исследования характеристик оптических извещателей с различными диапазонами излучений.

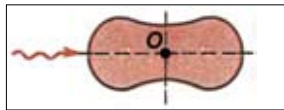


Рис. 5 Рассеяние света на частицах, значительно меньших длины волны

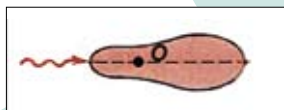


Рис. 6 Рассеяние света на частицах равных 1/2 длины волны

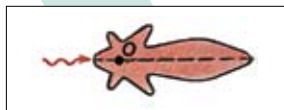


Рис. 7 Рассеяние света на частицах примерно в 2 раза больших длины волны

Различные типы рассеяния

Уровень и диаграмма рассеянного сигнала в общем случае 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 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 (рис. 5).

Теорию рассеяния при больших размерах частиц развил немецкий физик Густав Ми в 1908 году. Этот вид рассеяния, названный по его имени рассеянием Ми, существенно отличается от рэлеевского рассеяния. С увеличением относительного размера частиц по-

является асимметрия рассеяния, увеличивается рассеяние вперед. Например, на рис. 6 приведена диаграмма рассеяния 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 дополнительные боковые максимумы. На рис. 7 приведена диаграмма рассеяния для случая, когда диаметр частиц превышает две длины волны падающего света.

В дымовых оптических извещателях традиционно используются светодиоды инфракрасного диапазона с длиной волны порядка 950 нм с расположением оптических осей под углом порядка 120°. Соответственно диаграмма рассеяния изображенная на рис. 6 в этом случае будет наблюдаться при наличии дымов с частицами размером порядка 0,5 микрон. При больших размерах частиц дыма диаграмма рассеяния становится более узкой и уровень сигнала в направлении фотодиода будет снижаться.

Использование синего светодиода

В 1990 году японский изобретатель Судзи Накамура из корпорации Nichia Chemical Industries изобрел дешевый синий светодиод, и к 1993 году был начат серийный выпуск синих светодиодов. Длина волны синего светодиода равна 470 нм, т.е. в два раза меньше длины волны инфракрасного светодиода. Соответственно, его применение в оптическом извещателе позволяет эффективно обнаруживать более мелкие частицы дыма, для обнаружения которых ранее использовались радиоизотопные извещатели. В этом случае кривая чувствительности А на графике рис. 4 сместится влево и максимум будет располагаться в районе дымов с размерами частиц порядка 235 нм (0,235 микрона). Кроме того, анализируя соотношение уровня рассеянного света одновременно в инфракрасном и в синем диапазоне стало возможным оценить размер частиц в диапазоне примерно от 0,2 до 1 микрон. На рис. 8 приведена зависимость отношения уровня рассеяния синего излучения уровню рассеяния инфракрасного излучения, полученная при использовании частиц полистирола различного размера. Интенсивность рассеяния синего света на мелких частицах размером менее 0,2 микрона оказалась в 15 раз выше интенсивности рассеяния инфракрасного света. С увеличением размера частиц это отношение уменьшается и при размере частиц более 1 микрона стабилизируется на минимальном уровне.

Используя этот эффект, японская корпорация Nittan Group предложила оригинальный способ повышения чувствительности оптического извещателя по дымам от открытых очагов и для его защиты от воздействия пара и пыли. Был разработан, инфракрасно-синий оптический пожарный извещатель. Оптопара в дымовой камере располагалась в вер-

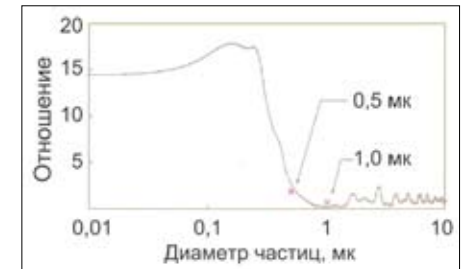


Рис. 8 Отношение уровней рассеяния синего света и инфракрасного

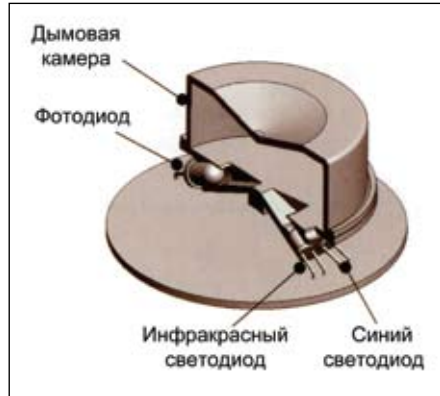


Рис. 9 Два светодиода – один фотодиод

тикальной плоскости (рис. 9), а не в горизонтальной, как в большинстве оптических извещателей. Это было сделано для обеспечения возможности размещения рядом двух светодиодов инфракрасного и синего, с обеспечением равных углов между их оптическими осями и оптической осью фотодиода. В этом извещателе производится измерение отраженного от частиц дыма сигнала на выходе фотодиода при излучении инфракрасного светодиода и при излучении синего светодиода. Далее анализируется величина каждого уровня и их отношение. Использование синего светодиода с в 2 раза более короткой длиной волны позволило повысить чувствительность извещателя по дымам с мелкими частицами до уровня

чувствительности радиоизотопного извещателя, а по соотношению уровня сигналов от инфракрасного и синего светодиода определяется размер частиц в дымовой камере и идентифицируются помеховые воздействия в виде пара, пыли, аэрозолей и т.д. Таким образом, применение синего светодиода в оптическом извещателе позволило получить качественно новый пожарный извещатель, сочетающий в себе преимущества оптического и радиоизотопного извещателя.

Экспериментальные исследования

Были проведены испытания оптического извещателя с инфракрасным и синим светодиодами на тестовые очаги TF1, TF2, TF3, TF4, TF5 и на воздействие пыли, пара и бытовых аэрозолей. На рис. 10, 11 приведены уровни отражения от синего и инфракрасного светодиодов и их отношение при очагах TF1 - открытое горение древесины и TF2 – тление древесины. Отношение выходных сигналов в синем и инфракрасном диапазонах при развитии очага практически не изменялось и находилось при очаге TF1 в районе 5, а при очаге TF2 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

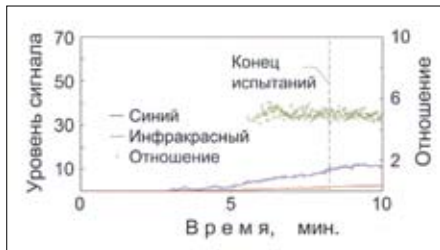


Рис. 10 Сигналы в синем и инфракрасном диапазонах и их отношение при очаге TF1

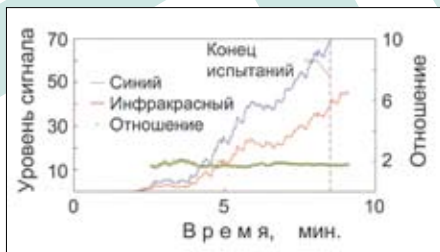


Рис. 11 Сигналы в синем и инфракрасном диапазонах и их отношение при очаге TF2

синего диапазона для обнаружения очагов открытого пламени, по сравнению с традиционными инфракрасными оптическими извещателями.

На рис. 12 приведены распределения значений отношения сигналов в синем и инфракрасном диапазоне при проведении тестов с очагами TF1, TF2, TF3, TF4, TF5, а так же при воздействии пара, пыли и лака для волос, которые являются основными причинами формирования ложных тревог обычными оптическими извещателями. В зависимости от типа очага были получены различные значения отношения уровня сигналов в синем и инфракрасном диапазоне, однако в наихудшем случае при очаге TF2 минимальное отношение составляло примерно 2, а при воздействии различных летучих частиц не вызванных пожаром, отношение близко к единице. Это объясняется тем, что размер частиц пара, пыли и аэрозолей значительно превышает длины волн синего и инфракрасного светодиода, что определяет равные уровни отражения в различных диапазонах.

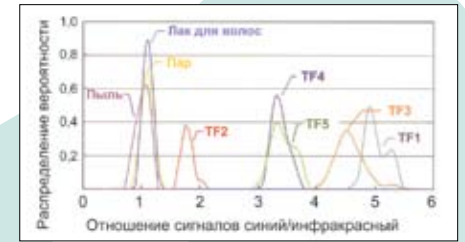


Рис. 12 Статистика отношения сигналов в синем и инфракрасном диапазонах при тестовых очагах TF1 – TF5 и при воздействии пара, пыли и бытовой аэрозоли

Данные результаты подтвердили практическую возможность идентификации вида воздействия в при использовании дополнительно синего светодиода в оптическом извещателе. Порог для разделения дымов от очагов пожара и помеховых 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.

Извещатели с дополнительным синим светодиодом начали выпускаться в 2003 г., и их эксплуатация на многих объектах показала отсутствие ложных срабатываний при различных воздействиях, не связанных с пожаром, например, при воздействии пара из ванной комнаты в гостиницах при обеспечении раннего обнаружения пожара. В этих извещателях сообщение «Пожар» в основном формировалось по уровню инфракрасного отражения, а уровень синего отражения использовался для вычисления их отношения. В следующих версиях канал синего диапазона стал использоваться для повышения чувствительности по дымам с малыми размерами частиц, по очагам с открытым пламенем, а также ввели компенсации запыления дымовой камеры по каждому каналу. В результате был разработан оптический извещатель обеспечивающий:

- способность различать воздействие дыма и «помех»;
- равную чувствительность по различным дымам, в частности от очагов TF1-TF5;
- адекватную реакцию на все сигналы «Пожар», т.к. они вызываются только возгоранием.