

Оптимизация конструкции дымового датчика

Игорь Неплохов,
кандидат технических наук, эксперт

По статистике, примерно 90% пожаров начинается с тления материалов, поэтому дымовые пожарные извещатели в большинстве случаев являются наиболее эффективным средством защиты от пожара.

Дымовые извещатели обнаруживают критическую ситуацию на раннем этапе, при минимальном задымлении помещения, что позволяет ликвидировать очаг подручными средствами с минимальными материальными потерями. Это не теоретические рассуждения: адекватная реакция персонала на сигнал «Пожар» от дымового извещателя позволяет избежать тяжелых последствий. Конечно, извещатель должен быть работоспособным, должен иметь высокую чувствительность в реальных условиях и не давать ложных сигналов.

Множество факторов влияет на эффективность дымового пожарного извещателя, но именно его конструкция определяет аэродинамические характеристики дымового пожарного извещателя. Даже при малых скоростях воздушного потока должно происходить быстрое заполнение извещателя дымом, иначе возникает задержка в формировании сигнала «Пожар», что эквивалентно снижению чувствительности пожарного извещателя. Сертификационные испытания по НПБ 65–97 «Извещатели пожарные дымовые оптико-электронные» в дымовом канале ограниченного сечения с принудительной циркуляцией аэрозоли при увеличении оптической плотности значительно отличаются от реальных условий и не позволяют в полной мере оценить эффективность дымового извещателя. Натурные испытания на тестовые пожары по ГОСТ Р 50898–96 «Извещатели пожарные. Огневые испытания», в отличие от европейского стандарта EN54–7, не проводятся. По этим причинам практически все сертифицированные российские дымовые оптико-электронные пожарные извещатели «ИП 212-XX» имеют чувствительность по паспорту 0,05–0,2 дБ/м и для потребителя отличаются только ценой и внешним видом.

Исходные положения

От тлеющего очага дым с нагретым воздухом поднимается вверх, до потолка, и распространяется в верхней части помещения в горизонтальной плоскости от очага (рис. 1). С увеличением расстояния от очага дым рассеивается, т.е. снижается удельная оптическая плотность, поэтому регламентируется максимальное расстояние между дымовыми пожарными извещателями. По Британскому стандарту BS5839, ч. 1: 2002, разд. 22, должно обеспечиваться расстояние от любой точки помещения до ближайшего дымового пожарного извещателя в горизонтальной проекции не более 7,5 м. Таким образом, считается, что дымовой пожарный извещатель контролирует площадь в виде круга радиусом 7,5 м, т.е. максимально 176 м². Преимуществом данной формулировки требования о размере контролируемой зоны является применимость ее к помещениям произвольной формы: от простейших прямоугольных до изогнутых и круглых. В НПБ 88–2001* «Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования» задан единственный способ расстановки дымовых пожарных извещателей — в узлах квадратной решетки с определением шага расстановки и максимального расстояния до стен, что применимо только для помещений прямоугольной формы. В данном случае радиус защищаемой зоны определяет поло-

вина диагонали квадрата, в углах которого расположены дымовые пожарные извещатели (рис. 2). Например, для помещения высотой до 3,5 м максимальный шаг квадратной решетки составляет 9 м, диагональ ячейки равна $9\sqrt{2}$, а радиус защищаемой зоны $9\sqrt{2}/2 \sim 6,36$ м. Соответственно, максимальная площадь в виде круга, защищаемая дымовым пожарным извещателем по НПБ 88–2001*, равна 125 м².



Рис. 1. Распространение дыма от тлеющего очага на первом этапе

Таким образом, конструкция дымового точечного извещателя должна быть рассчитана на горизонтальные воздушные потоки с незначительными скоростями. Кроме того, в непосредственной близости к перекрытию сохраняется слой чистого воздуха, и по BS5839 требуется установка дымовых и тепловых пожарных извещателей таким образом, чтобы их чувствительные элементы были расположены на расстоянии, не менее 25 мм от потолка.

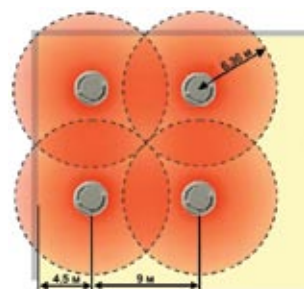


Рис. 2. Максимальная площадь, защищаемая дымовым извещателем по НПБ 88–2001*

Для обеспечения эффективной пожарной защиты сигналы о пожароопасной ситуации должны формироваться при сравнительно небольшой концентрации дыма. Чувствительность дымового извещателя — это удельная оптическая плотность среды, измеренная в дБ/м или %/м, при которой формируется сигнал «Пожар». Чем меньший уровень оптической плотности среды вызывает активизацию пожарных извещателей, тем выше его чувствительность. При испытаниях по НПБ 65–97 чувствительность дымовых пожарных извещателей должна оставаться в пределах 0,05–0,2 дБ/м, при этом отношение максимальной оптической плотности к минимальной не должно превышать:

- при изменении ориентации к направлению воздушного потока — 1,6 раза;
- при изменении скорости воздушного потока — 0,625–1,6 раза;
- от экземпляра к экземпляру — 1,3 раза;
- при изменении напряжения питания — 1,6 раза;
- при изменении температуры окружающей среды до +55 °C — 1,6 раза.

Одновременное воздействие нескольких факторов, что обычно и происходит на практике, может вызвать изменение чувствительности оптико-электронного пожарного извещателя в широких пределах. К тому же, в процессе эксплуатации происходит уход чувствительности из-за накопления пыли, старения электронных компонентов и т.д.

Необходимо также обеспечить защиту от воздействия искусственного или естественного освещения яркостью до 12 000 лк, защиту от влаги, пыли, коррозии, насекомых, воздействия электромагнитного излучения, механических воздействий и т.д. В НПБ 57–97 приведены требования по помехоустойчивости и помехоэмиссии, т.е. извещатель должен сохранять работоспособность при воздействии электромагнитных помех и электростатических разрядов, а также сам он не должен являться источником электромагнитных помех.

Уровень разработки дымового пожарного извещателя часто можно определить уже по его внешнему виду. Как не тривиально это звучит, но дымовой извещатель может определить пожароопасную ситуацию, только когда в нем появится определенная концентрация дыма. Как быстро это произойдет — зависит от аэродинамических свойств конструкции дымозахода пожарного извещателя, защитных конструктивных элементов, структуры дымовой камеры и т.д. Точный количественный анализ — это сложная задача, решение которой зависит от массы факторов, но есть общие закономерности, которые проявляются практически в любых условиях.

Причем, чем выше класс пожарных извещателей, тем тщательнее должны отрабатываться конструкция корпуса пожарного извещателя, форма дымовой камеры и диаграммы направленности свето- и фотодиода оптопары. Повышенные требования по стабильности чувствительности предъявляются к дымовым пожарным извещателям с несколькими порогами. При установке минимального или максимального уровня их чувствительность не должна выходить за допустимые пределы. Адресно-аналоговый дымовой извещатель должен в реальном масштабе времени передавать на адресно-аналоговый прибор текущее значение оптической плотности с высокой точностью, следовательно, конструкция адресно-аналогового пожарного извещателя должна обеспечивать практически полное отсутствие зависимости результатов измерений от направления и скорости воздушных потоков. Кроме того, должна обеспечиваться малая инерционность, т.е. концентрация дыма в оптической камере должна незначительно отличаться от концентрации в окружающей среде.

Противоречивость требований, предъявляемых даже к обычному пороговому дымовому пожарному извещателю, определяет сложность разработки его конструкции, причем неудачное конструктивное решение невозможно компенсировать даже самыми сложными схмотехническими решениями.

Принцип работы дымового оптико-электронного пожарного извещателя

В дымовых точечных оптико-электронных пожарных извещателях используется эффект диффузного рассеяния излучения светодиода на частицах дыма. Светодиод располагается таким образом, чтобы исключить прямое попадание его

излучения на фотодиод (рис. 3). При появлении частиц дыма часть излучения отражается от них и попадает на фотодиод. Здесь наблюдается диффузное рассеяние, которое, в отличие от зеркального, имеет широкую направленность. Подобный эффект возникает при прохождении луча прожектора через облако: в чистой среде луч невидим, а в облаке происходит его рассеяние на частицах влаги и часть излучения отражается в сторону наблюдателя. Для защиты от внешнего света оптопара — светодиод и фотодиод, размещается в дымовой камере, которая установлена в корпусе дымового извещателя.

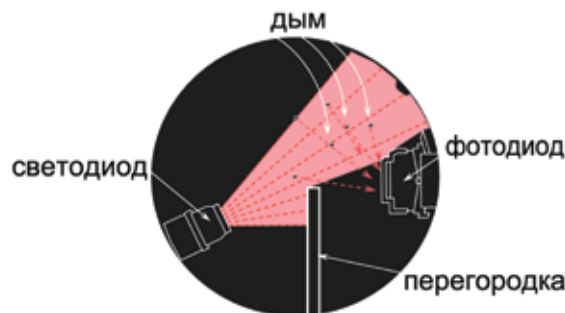


Рис. 3. Модель дымового оптико-электронного извещателя

Принцип действия оптико-электронного пожарного извещателя оказывает сильное влияние на его чувствительность и помехоустойчивость формы дымовой камеры, ее цвет, структуру поверхности и диаграммы направленности светодиода и фотодиода и их взаимное расположение в пространстве. При отсутствии дыма минимальный уровень сигнала должен поступать на фотодиод. Для этого камера должна иметь черный цвет и матовую поверхность. Конструкция дымовой камеры должна одновременно обеспечивать свободный проход воздуха и значительное ослабление излучения от внешних источников света. Требования противоречивые, и их достаточно полное выполнение возможно при значительных затратах на исследовательские работы, на математическое и натурное моделирование. Кроме того, неизбежное накопление пыли, как правило, серого цвета, на стенках дымовой камеры приводит к повышению сигнала фотодиода, что вызывает ложные срабатывания. Излучение светодиода отражается от запыленных стенок оптической камеры так же, как от частиц дыма. Этот эффект определяет необходимость периодического проведения технического обслуживания дымовых оптико-электронных извещателей, заключающегося в разборке извещателя и чистке его дымовой камеры.

Конструкция первых дымовых извещателей

Первые российские дымовые пожарные извещатели имели вертикально вентилируемые дымовые камеры, т.е. со сплошной боковой стенкой, с доступом в чувствительную зону снизу и сверху. Конструкция корпуса обычно дополнительно снижает эффективность извещателя. Например, в «ДИП-2» дымозаход, расположенный только в нижней части корпуса, вообще не позволяет создать направленный воздушный поток через дымовую камеру (рис. 4). Весь основной внутренний объем корпуса расположен значительно выше дымозахода и представляет собой замкнутое пространство, в которое дым попадает только за счет турбулентности при значительных скоростях воздушного потока. Однако подобные конструкции могут хорошо «работать» на испытаниях в дымовом канале: за счет солидных габаритов в месте расположения извещателя перекрывается значительная часть сечения канала, увеличивается скорость воздушного потока, и аэрозоль за счет вихревых потоков достаточно быстро попадает в дымовую камеру.



Рис. 4. Конструкция дымового извещателя «ДИП-2»

Частично этот недостаток был устранен в следующей модели — «ДИП-3», путем создания двух дымоходов: в верхней и нижней части корпуса (рис. 5). Конечно, данное решение также далеко от идеального.



Рис. 5. Конструкция дымового извещателя «ДИП-3»

Оптимизация дымохода

Все современные дымовые извещатели имеют горизонтально вентилируемые камеры, рассчитанные на относительно свободное прохождение воздушного потока в горизонтальном направлении, но тем не менее, остаются важными конструкция дымохода и форма дымовой камеры. Большое значение имеют площадь дымохода и его форма. У большинства европейских пожарных извещателей можно найти общие черты: форма извещателя исключает возможность обтекания воздушным потоком корпуса извещателя в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В качестве примера на рис. 5 показаны дымовые извещатели «Систем Сенсор» адресно-аналоговые серии «200+» и неадресные серии «ECO1000».



Рис. 6. Формирование горизонтального дымохода

Характерные особенности конструкции дымохода:

- отдельные элементы конструкции корпуса образуют воронку, направляющую воздушный поток внутрь извещателя;
- выступающая часть нижней крышки исключает обтекание корпуса снизу;
- стойки крепления нижней крышки исключают обтекание корпуса в горизонтальной плоскости;
- дымоход имеет максимальную площадь;
- плоскость дымохода расположена перпендикулярно горизонтальному воздушному потоку.

Кроме того, важно обеспечить максимальное соотношение площади дымохода и внутреннего объема дымовой камеры. Хорошая вентилируемость дымовой камеры определяет малую инерционность работы. Данная задача аналогична проветриванию помещения: открытая форточка — вентилируемость очень слабая, открытое окно — вентиляция улучшается, несколько открытых окон — еще лучше и т.д. Максимальный уровень вентиляции в круглом помещении обеспечивается при полностью открытой боковой стене.

Большое значение имеет эффективная защита от насекомых, ее отсутствие значительно сужает область применения дымового извещателя. Попытки сэкономить на дополнительных конструктивных элементах и выполнить защиту в виде щелей непосредственно в корпусе извещателя приводят к резкому снижению площади дымохода и обеспечивают защиту по пыли на уровне IP4 в лучшем случае только по одной из координат. Кроме того, в подобных конструкциях обычно оптическая камера отнесена от дымохода в корпусе, что дополнительно ухудшает аэродинамические характеристики извещателя. Сначала дым заполняет внутреннюю часть корпуса и только потом попадает в оптическую камеру, причем значительная часть воздушного потока может проходить мимо дыма. Эффективная защита от насекомых без значительного сокращения площади дымохода обеспечивается только при использовании сетки с металлической или пластиковой сеткой с ячейкой менее 1x1 мм. На рис. 7 изображен крупным планом дымоход пожарных извещателей «Систем Сенсор».



Рис. 7. Защита дымохода сеткой

Основные черты оптимальной конструкции:

- дымовая камера защищена металлической или пластиковой сеткой;
- высота сетки равна высоте дымовой камеры, что обеспечивает максимальную площадь дымохода;
- сетка непосредственно примыкает к дымовой камере, что исключает необходимость заполнения дымом корпуса извещателя;
- защитная сетка практически не снижает площадь дымохода.

Конструкция вертикальной оптической камеры

Основой дымового оптико-электронного извещателя является оптическая камера и оптопара. Конструкция камеры должна одновременно удовлетворять ряд противоречивых требований, например обеспечить свободный доступ для горизонтальных воздушных потоков и исключить попадание света, пыли и т.д. Все крупные производители пожарных извещателей уделяют огромное внимание разработке оптической камеры, поскольку именно она определяет основные характеристики пожарного извещателя. При разработке всегда приходится учитывать несколько противоречивых требований, например затруднить доступ в камеру частицам пыли и грязи, исключить влияние внешнего света и, в то же время, обеспечить свободное прохождение воздушного потока. Для решения этой сложнейшей технической задачи используются методы математического моделирования и экспериментальные исследования. Причем, оптимизируются одновременно конструкция дымовой камеры, диаграммы направленности светодиода и фотодиода, а также их расположение. Поэтому «заимствование» конструкций оптических камер ведущих производителей, при использовании стандартных свето- и фотодиодов, с изменением конструкции дымозахода не дает удовлетворительных результатов.



Рис. 8. Конструкция вертикально вентилируемой дымовой камеры

Первая задача при конструировании оптической камеры — обеспечение минимального фонового сигнала на фотодиоде в условиях чистой среды. Отношение уровня сигнала фотодиода, при котором активизируется извещатель, к величине фонового сигнала определяет его помехозащищенность. В «ДИП-2» и «ДИП-3» с этой целью излучение фокусировалось в центральной части камеры дополнительными линзами. Боковые области камеры разбиты на части перегородками для обеспечения многократного переотражения и затухания сигнала светодиода на поверхностях черного до его попадания на фотодиод (рис. 8). Однако сплошная вертикальная боковая стенка не только создает препятствие для горизонтального воздушного потока, но и определяет значительное увеличение фонового сигнала при накоплении пыли за счет увеличения отражения излучения от стенок серого цвета. Этот процесс сначала сопровождается увеличением вероятности ложных сигналов «Пожар», а при отсутствии технического обслуживания фоновый сигнал может превысить порог и извещатель будет подтверждать режим «Пожар» даже после сброса.

Конструкция горизонтальной оптической камеры

Горизонтально вентилируемая камера с боковым дымозаходом значительно эффективнее при горизонтальных воздушных потоках, но и здесь имеется масса проблем. Во-первых, должна быть защита от искусственных и естественных источников света. С этой целью по периметру камеры устанавливают вертикальные пластинки определенной формы, не допускающие прямого попадания света на фотодиод. На рис. 9 показана модель с использованием «Г»-образных пластинок: свет отражается несколько раз от черных поверхностей пластинок и значительно ослабляется. При накоплении пыли на поверхностях пластинок увеличивается коэффициент отражения и большая часть света проникает в оптическую камеру.



Рис. 9. Модель оптической камеры с «Г»-образными пластинками

Для повышения защиты от света иногда используют более сложные «Т»-образные пластинки (рис. 10), но такая конструкция значительно ухудшает вентилируемость из-за резкого изменения направления воздушного потока и уменьшения площади дымозахода.

Во-вторых, необходимо обеспечить равномерное поступление воздушных потоков с различных направлений для исключения изменения чувствительности. Обычно часть дымозахода перекрывается светодиодом и фотодиодом, что определяет снижение воздушного потока с этих направлений. Данный эффект усиливается с уменьшением диаметра камеры, так как увеличивается часть ее периметра, препятствующая воздушному потоку.



Рис. 10. Модель оптической камеры с «Т»-образными пластинками

В-третьих, остается проблема увеличения фонового сигнала при накоплении пыли на внутренних поверхностях камеры.

Тщательная проработка конструкции оптической камеры позволяет если не исключить, то снизить до минимума проявление отрицательных эффектов. Например, на рис. 11 приведена конструкция камеры «Систем Сенсор», которая используется в большинстве адресно-аналоговых дымовых и комби-

нированных извещателей последних поколений. Основные характерные особенности:

- сложная форма пластинок (рис. 12), расположенных по периметру камеры, обеспечивает более высокую степень защиты от внешнего света, по сравнению с пластинками с плоскими поверхностями;
- плавные изгибы вертикальных пластинок не оказывают значительного сопротивления воздушным потокам;
- внутрь дымовой камеры обращены заостренные края пластинок, и большая часть излучения светодиода попадает между пластинками, что максимально снижает уровень фонового сигнала;
- изрезанность поверхности на дне и крышке камеры уменьшает, по сравнению с плоскими поверхностями, уровень отраженного сигнала, так как подсвечиваются только выступающие части;
- значительное снижение площади внутренних поверхностей камеры, от которых отражается излучение в сторону фотодиода, определяет незначительное увеличение фонового сигнала при появлении пыли;
- воздушные каналы, создаваемые удлиненными пластинками рядом с фотодиодом и светодиодом, практически полностью исключают зависимость от направления воздушного потока.

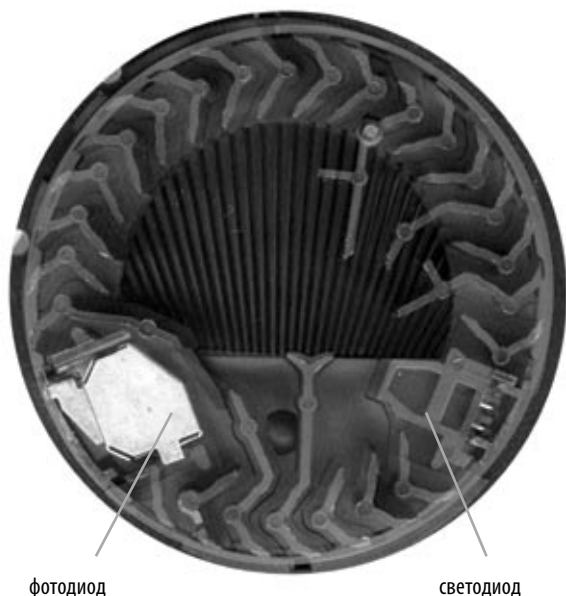


Рис. 11. Конструкция оптической камеры адресно-аналогового дымового извещателя

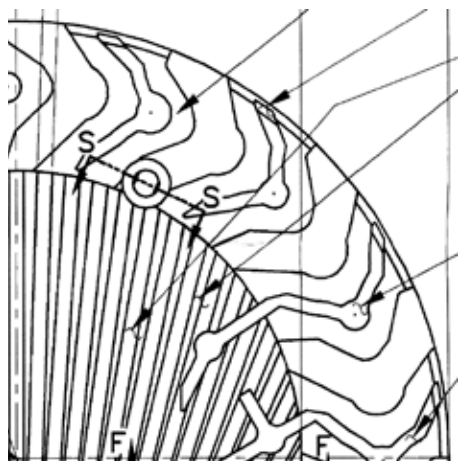


Рис. 12. Фрагмент чертежа конструкции оптической камеры адресно-аналогового дымового извещателя

Комплексная оптимизация конструкции дымового извещателя

В дымовых интеллектуальных извещателях «Систем Сенсор» неадресных «ПРОФИ» и адресных «Леонардо» реализован комплексный подход к оптимизации конструкции, при котором отдельные конструктивные элементы одновременно выполняют несколько функций.



Рис. 13. Конструкция извещателей серий «ПРОФИ» и «ЛЕОНАРДО»

Корпус извещателя имеет горизонтальный дымозахват, защищенный от насекомых сеткой, размещенной в крышке дымовой камеры (рис. 13). Абсолютно круглая в горизонтальной плоскости дымовая камера обеспечивает одинаково высокую чувствительность при поступлении дыма с любого направления (рис. 14). Сложная форма пластинок, расположенных по ее периметру, обеспечивает одновременно хорошую продуваемость и защиту от внешнего света. Незначительное

аэродинамическое сопротивление определяет отсутствие снижения чувствительности при малых скоростях воздушного потока. Оптопара, расположенная на «втором этаже», чуть выше дымозахода, защищена от пыли, которая в основном скапливается на дне крышки дымовой камеры. Дымовая камера оптимизирована со специально разработанными для этих серий извещателей инфракрасными светодиодами и фото-

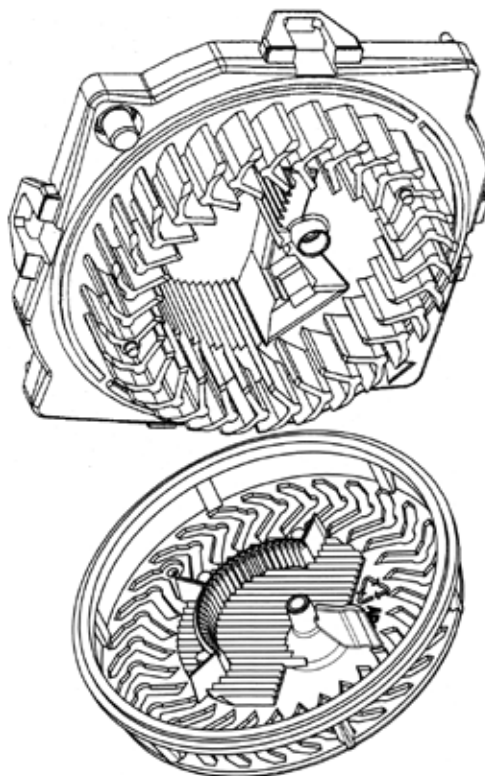


Рис. 14. Конструкция дымовой камеры извещателей «ПРОФИ» и «Леонардо» (чертежи)

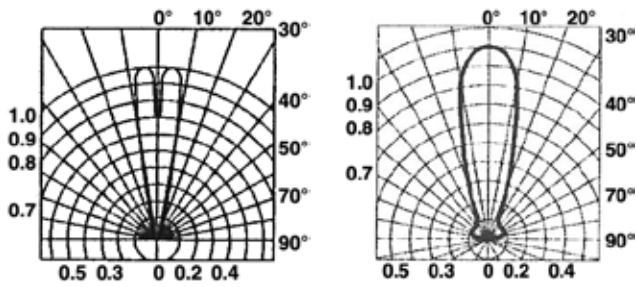


Рис. 15. Диаграммы направленности: а — светодиода; б — фотодиода

диодами. Узкая диаграмма светодиода с двумя максимумами позволяет создать равномерно высокий уровень освещения в центральной части дымовой камеры, в секторе $\pm 10^\circ$ и снизить освещение боковых стенок камеры. Диаграмма направленности фотодиода также имеет ширину примерно $\pm 10^\circ$ с направлением максимума в центральную часть дымовой камеры (рис. 15). Таким образом, обеспечивается снижение фонового

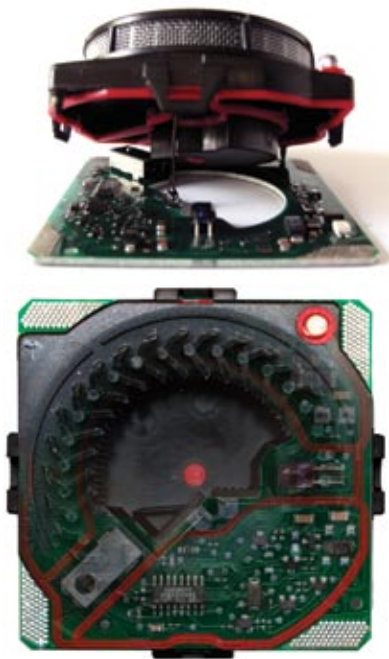


Рис. 16. Герметизация печатной платы

сигнала, принимаемого фотодиодом за счет переотражения от стенок камеры, и увеличение сигнала при появлении дыма. Повышение направленности оптопары эквивалентно увеличению отношения «сигнал – фон». Точная юстировка оптических осей при установке кристаллов светодиодов и фотодиодов определяет стабильность чувствительности извещателей. Свето- и фотодиод имеют SMD-исполнение и устанавливаются на плату одновременно с остальными электронными компонентами с обеспечением точной ориентации.

При изготовлении дымовой камеры по ее периметру со стороны печатной платы в ту же форму для обеспечения прочности соединения добавляется красный эластичный пластик (рис. 16). Этот слой обеспечивает герметизацию электронной схемы извещателя и ее влагозащиту. Чтобы не нарушать герметичность в месте установке индикаторов (кристаллы красного и зеленого светодиодов), сигнал передается через световод, установленный в корпусе дымовой камеры.

На печатной плате хорошо видны круглые контактные площадки (рис. 17), которые используются для подключения игольчатых контактов при проведении компьютерного тес-

тирования. В процессе тестирования осуществляется контроль элементов, статических и динамических характеристик устройства. Число контрольных точек на печатной плате определяет глубину тестирования извещателя в процессе изготовления.

Большое внимание уделено защите от электромагнитного воздействия. Высокая степень интеграции и миниатюризация позволили выполнить практически все электрические соединения в одном слое печатной платы и использовать второй



Рис. 17. Электроника извещателя

слой для экранировки. Точно так же заэкранирован фотодиод, а SMD-исполнение позволило до минимума сократить длину его выводов. Без экранировки входных цепей усилителя сигнала и выводов светодиода в реальных условиях невозможно избавиться от наводок от внешних электромагнитных помех и избежать ложных срабатываний без загромождения чувствительности извещателя. Отсутствие экранировки в извещателях определяет наличие ложных срабатываний в реальных условиях. Причем отсутствие ложных срабатываний при отсутствии экранировки, скорее всего, указывает на недопустимо низкий уровень чувствительности. Даже в обычном офисном или жилом здании может появляться значительный уровень электромагнитных помех от сотовой связи, офисных радиотелефонов, от включения и выключения различных силовых установок, от работы мобильных средств связи различных служб и т.д. При этом возможно как прямое детектирование электромагнитных сигналов на входных цепях усилителя сигнала фотодиода, так и наводки на другие электрические цепи извещателя и шлейфы сигнализации. Незначительное загрязнение дымовой камеры или уход порога срабатывания приводит к увеличению вероятности ложных срабатываний. Наличие ложных срабатываний следует классифицировать как неисправность системы пожарной сигнализации практически наравне со снижением чувствительности или отказом извещателя. В 2003 году для решения этой проблемы в нормативы было введено требование об увеличении минимального числа извещателей в помещении до 3–4 с формированием сигналов при одновременной активизации не менее 2 извещателей. Производители приемно-контрольных приборов были вынуждены ввести алгоритм перепроверки активизации извещателей, который только затрудняет идентификацию неисправного извещателя и приводит к более позднему оповещению о пожаре. Однако использование оптимальной конструкции извещателя со стабилизацией и контролем чувствительности обеспечивает возможность использования нескольких фиксированных уровней чувствительности, например 0,08, 0,12 и 0,16 дБ/м, без риска выхода за пределы допустимого диапазона 0,05–0,2 дБ/м и ложных срабатываний даже на верхнем уровне чувствительности. ■