

Владимир БАКАНОВ,
главный конструктор
ЧП «Артон»

Проблема компенсации дрейфа чувствительности дымовых пожарных извещателей

Проблема, вынесенная в заголовок, не нова [1–6]. Ее корни скрываются более глубоко, чем это могут обычно увидеть программисты, пишущие только софт для микроконтроллерных устройств и не знающие физические принципы работы дымовых пожарных извещателей. Тема остается актуальной, так как в российских нормативных документах по пожарным извещателям и их применению в этом направлении полная неопределенность. С одной стороны, в своде правил СП5.13130.2009 [7] извещателям, в которых «обеспечивается автоматический контроль работоспособности пожарного извещателя в условиях воздействия факторов внешней среды, подтверждающий выполнение им своих функций, и формируется извещение об исправности (неисправности) на приемно-контрольном приборе», выдаются индульгенции, а с другой стороны – в ГОСТ Р 53325-2009 [8] для таких извещателей нет ни определения, ни технических требований, ни методик проверки. Вот и приходится специалистам отрасли определяться, что им нужно получить от современных дымовых пожарных извещателей – преференции по их размещению или более достоверное обнаружение возникающего пожара?

Проведенный по этому направлению анализ показал, что сама проблема компенсации дрейфа чувствительности дымовых пожарных извещателей состоит из нескольких не менее важных и нерешенных нормативно вопросов, которые реально определяют современные требования к техническому уровню этого компонента систем пожарной сигнализации. Вот возможный перечень вопросов:

- что такое «чувствительность дымового оптико-электронного извещателя»;
- что такое «дрейф чувствительности» и как он связан с «запыленностью»;
- что такое «компенсация дрейфа» и «информация о запыленности».

Конечно, это не все вопросы по данной проблеме, которые можно было бы раскрыть в одной публикации.

Чувствительность

Вроде бы ГОСТ Р 53325-2009 однозначно определяет этот параметр в п. 3.59:

«3.59 чувствительность извещателя: Численное значение контролируемого параметра,

при превышении которого должно происходить срабатывание ПИ».

И даже в численных значениях для оптико-электронного извещателя в п. 4.7.1.1 имеется строго определенный диапазон возможных значений:

«4.7.1.1 Чувствительность извещателей пожарных дымовых оптико-электронных точечных (ИПДОТ) должна быть указана в ТД на ИПДОТ конкретного типа и находиться в пределах от 0,05 до 0,2 дБ/м».

Однако в проекте стандарта ГОСТ Р 53325-2012 появилось еще несколько параметров, которые характеризуют чувствительность ИПДОТ, и введена новая классификация таких ИП по селективной чувствительности к тестовым очагам пожара (см. п. А5). Но определения для термина «селективная чувствительность» в документе нет. Так что даже трудно предугадать, сколько будет классов ИПДОТ по селективной чувствительности, – 3 или 24? Поэтому оставим проект стандарта и вернемся к действующему документу.

ГОСТ Р 53325-2009 предусматривает проверку стабильности и повторяемости чувствительности ИПДОТ. Может быть, тогда в п. 4.7.1.1 правильнее было бы говорить про то, в каких пределах могут находиться среднеарифметические показатели чувствительности ИПДОТ конкретного производителя? Получается, что с учетом допустимой погрешности измерителя оптической плотности воздуха 0,02 дБ/м допустимые границы значений среднеарифметических показателей чувствительности ИПДОТ должны быть в пределах от 0,09 до 0,12 дБ/м. Проводить проверку стабильности и повторяемости чувствительности ИПДОТ

необходимо при максимальной, но стабильной скорости роста удельной оптической плотности воздуха в круговой дымовой камере, например, 0,07–0,09 дБ/м в минуту. Тогда и разброс измеренных значений от измерения к измерению и от изделия к изделию будет реально большим, чем при малых скоростях роста задымленности. Очевидно, что между чувствительностью извещателя к хлопковому дыму в дымовом канале и чувствительностью к тестовым пожарам существует определенная корреляция. Но какова она? Ведь какой смысл говорить про компенсацию запыленности для дымового извещателя с чувствительностью 0,19 дБ/м в дымовом канале, если такое изделие вообще не проходит испытания по тестовому пожару, например, ТП5? Опубликованных исследований в этом направлении практически нет, а известные публикации лишь частично раскрывают проблему [9–11].

Если в процессе серийного производства удалось обеспечить стабильность и повторяемость чувствительности в пределах $(0,1 \pm 0,02)$ дБ/м в дымовом канале, то имеется определенная уверенность в том, что такие извещатели пройдут испытания по всем тестовым пожарам. И только после этого можно переходить к решению проблемы компенсации дрейфа чувствительности ИПДОТ.

Дрейф

На повторяемость чувствительности ИПДОТ на протяжении длительных промежутков времени влияет множество факторов. И влияние этих факторов различно как по величине, так и по знаку. Воздействие этих факторов может быть регулярным, периодическим или случайным. Пример возможных изменений чувствительности во времени представлен на рис. 1.

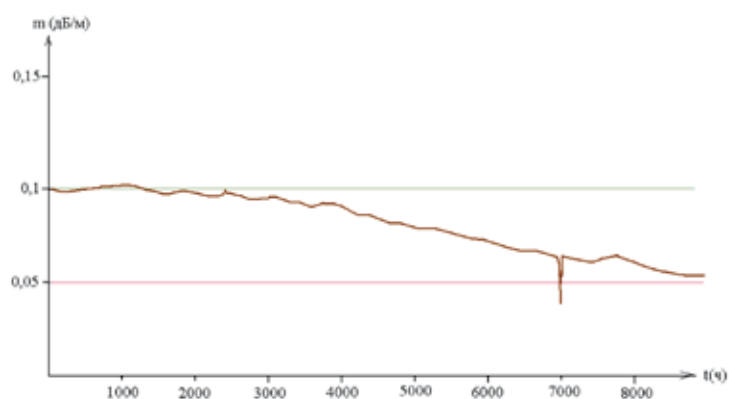


Рис. 1

Повышение чувствительности извещателя до значения 0,05 дБ/м и менее этой величины нежелательно, так как повышается вероятность ложного срабатывания из-за случайных или регулярных электромагнитных помех или просто из-за увеличения концентрации пыли в воздухе. При нормальной концентрации пыли удельная оптическая плотность воздуха может достигать значения не более 0,02 дБ/м, что на уровне погрешности измерительного прибора. Именно с этих и меньших показаний измерительного прибора начинаются испытания в дымовом канале и в комнате тестовых пожаров.

Мельчайшие частицы пыли в воздухе мы обычно не видим, но это не означает, что их нет. Именно в камере дымового сенсора происходит обнаружение мельчайших частиц продуктов горения, а также пыли [12]. Как с помощью эффекта Тиндаля в камере дымового сенсора удастся увидеть невидимое, наглядно представлено на рис. 2.



Рис. 2

В приведенной выше статье подробно описаны особенности построения камеры дымового сенсора, поэтому остановимся на принципах обработки сигналов микроконтроллерным дымовым извещателем, блок-схема которого приведена на рис. 3.

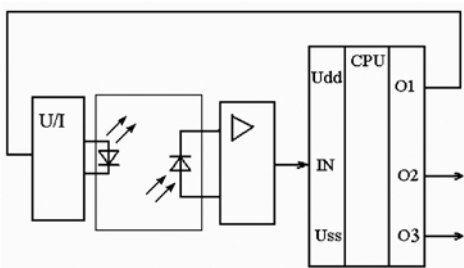


Рис. 3

С первого выхода O1 микроконтроллера CPU импульсный сигнал поступает на преобразователь напряжение-ток U/I, который управляет работой ИК-светодиода. Рассеянное излучение оценивается фотодиодом, и после усиления фотоусилителем импульсный сигнал определенной амплитуды поступает на аналоговый вход микроконтроллера CPU. После преобразования сигнала встроенным аналогово-цифровым преобразователем начинаются его обработка и анализ. Результаты работы микроконтроллера CPU выводятся на его выходы O2 и O3 в виде логических сигналов «пожарная тревога» и «неисправность».

Общеизвестно, что при малых концентрациях дыма можно пользоваться при описании закономерностей теорией идеального газа. В этом случае зависимость амплитуды напряжения на выходе фотоприемника от удельной оптической плотности воздуха описывается линейным законом:

$$U_a = A m + B,$$

где:

- U_a – амплитуда сигнала на выходе фотоприемника;
- A – коэффициент пропорциональности;
- m – удельная оптическая плотность воздуха;
- B – постоянная составляющая.

Как влияют коэффициенты A и B на точность преобразования сигнала, видно на рис. 4. Если в чистом воздухе фоновый сигнал составляет 0,4 В или около 20% от полезного сигнала, тогда порог срабатывания составляет 2,3 В, что будет соответствовать удельной оптической плотности воздуха 0,1 дБ/м. В этом случае такая характеристика будет описываться уравнением:

$$y = 19x + 0,4$$

Если фон увеличится в два раза и его величина составит 0,8 В, то при том же угле наклона передаточная характеристика будет описываться уравнением:

$$y = 19x + 0,8$$

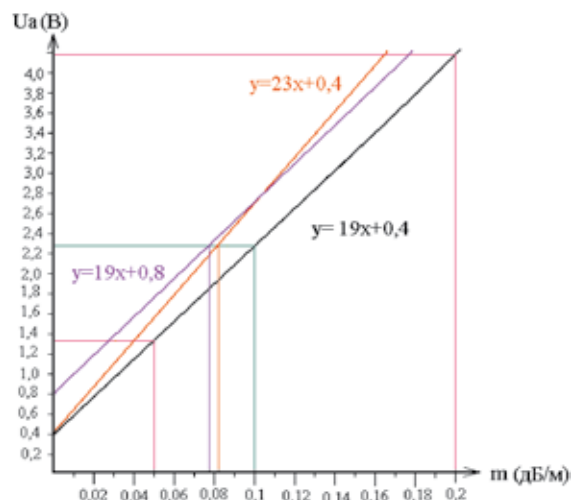


Рис. 4

В том случае, когда тангенс угла наклона характеристики изменится на 20% при том же фоновом сигнале, будем иметь следующее уравнение:

$$y = 23x + 0,4$$

Если считать, что при таких изменениях передаточной характеристики порог срабатывания меняться не будет, т. е. останется на уровне 2,3 В, ошибка в определении удельной оптической плотности воздуха составит около 0,02 дБ/м, что соответствует погрешности применяемого по стандарту в круговой дымовой камере измерителя удельной оптической плотности воздуха. Для того чтобы стало возможным обнаружить наличие дрейфа чувствительности дымового извещателя и проводить его компенсацию, необходимо изменить в лучшую сторону нормативную точность измерительного оборудования [13].

Кажется, все тут просто, но проблема в том, что в общем случае коэффициенты A и B сами являются функциями многих переменных.

В общем случае линейное уравнение примет следующий вид:
 $U_a(K, I_c, O_c, O_f, T, U_z, t, \dots) = A(K, I_c, O_c, O_f, T, U_z, t, \dots) m + B(K, I_c, O_c, O_f, T, U_z, t, \dots)$

где:

- K – коэффициент усиления фотоусилителя;
- I_c – ток через ИК-светодиод;
- O_c – оптические параметры ИК-светодиода;
- O_f – оптические параметры фотодиода;
- T – температура окружающего воздуха;
- U_z – напряжение питания в шлейфе;
- t – время и др.

В разряд «другие» отнесены такие параметры, как конструкция камеры дымового сенсора и изменения в этой конструкции, например, вследствие оседания пыли на горизонтальной плоскости одной из внутренних стенок этой камеры.

Если фотодиод «видит» изменение цвета одной из внутренних стенок камеры дымового сенсора, значит, может быть, она сконструирована плохо? И теперь недостатки конструкции должны устраняться математическими методами по программе микроконтроллера? Реально ведь существуют извещатели, у которых низкий уровень фонового сигнала позволил выполнить внутреннюю часть дымовой камеры из серого пластика цвета пыли. Соответственно, оседание пыли на стенках камеры

серого цвета не искажает результаты измерений оптической плотности среды. Как утверждает автор публикации [14]: при эксплуатации этих извещателей в офисном помещении в течение 1,5 года уровень фона у них вообще не изменился.

Используя приведенные выше ограничения применяемой теории идеального газа, а также некоторые дополнительные краевые условия, можно представить коэффициенты A и B этого линейного уравнения как суперпозиции линейных уравнений от каждой отдельной переменной. Не вдаваясь в подробности функционального анализа, можно утверждать, что на определенном отрезке значений влияние одной переменной можно компенсировать соответствующим изменением другой переменной. Например, изменением тока через ИК-светодиод можно компенсировать влияние температуры на весь измерительный тракт извещателя [15] во всем диапазоне рабочих температур изделия.

В простейшем пороговом извещателе решение о достижении заданного уровня удельной оптической плотности воздуха реализуется путем сравнения пороговым элементом сигнала с выхода фотоусилителя с некоторым фиксированным порогом. Когда уровень сигнала достигает установленного порога, извещатель формирует сигнал пожарной тревоги. Удельная оптическая плотность дыма, при которой это происходит, определяет численное значение чувствительности пожарного извещателя. В таком пожарном извещателе порог пожарной тревоги является фиксированной величиной и не зависит от скорости изменения во времени уровня сигнала, поступающего на пороговый элемент. Для обеспечения метрологической точности и помехоустойчивости необходимо, чтобы фоновый сигнал нового извещателя в чистом воздухе был во много раз меньше порогового уровня. Конечно, существуют дымовые извещатели, у которых фоновый сигнал превышает 50% уровня сигнала при пожарной тревоге, и нет видимых причин для их запрета, ведь могут они тоже нормально функционировать в условиях электромагнитных помех, правда, по второму, а не по третьему уровню жесткости.

В процессе эксплуатации уровень фонового сигнала на выходе фотоусилителя в чистом воздухе может изменяться как в большую, так и в меньшую сторону. Такие изменения обусловлены, например, оседанием пыли на стенках камеры дымового сенсора или старением электронных компонентов, в первую очередь ИК-светодиода. Причем одни изменения влияют на оба коэффициента линейного уравнения A и B , другие — только на B , постоянную составляющую этого уравнения. Этот дрейф сигнала на выходе фотоусилителя может со временем привести к повышению чувствительности и в конечном итоге к ложным тревогам.

Действительно, если в микропроцессорном извещателе в чистом воздухе уровень фонового сигнала составляет 80% от планового порога и этот уровень растет со временем, то для нормальной работы изделия просто необходимо предпринимать шаги, обеспечивающие компенсацию влияния этого параметра на чувствительность извещателя.

Компенсация

Европейский стандарт EN 54-7 [16] в своем п. 4.8 и в приложении L рекомендует введение функции компенсации дрейфа в целях поддержания более постоянной чувствительности извещателя во времени. Разработчики этого нормативного документа считают, что компенсация достигается посредством изменения порога срабатывания извещателя, чтобы скомпенсировать дрейф выходного сигнала, направленный в первую очередь в сторону его увеличения.

Однако введенная в программу обработки микроконтроллера компенсация дрейфа может снижать чувствительность извещателя при медленном изменении сигнала на выходе фотоусилителя, которое вызывается не ростом фонового сигнала, а постепенным увеличением уровня задымленности пространства. Цель требования п. 4.8 а) — компенсация не должна уменьшать чувствительность до неприемлемого уровня при задымлении от медленно развивающегося очага пожара.

Для обеспечения этой цели в стандарте предполагается, что развитие пожара, который представляет серьезную опасность, будет осуществляться так, что удельная оптическая плотность воздуха будет изменяться со скоростью не меньше, чем $A/4$ в час, где A — номинальная величина порога срабатывания извещателя, например 0,1 дБ/м. Для

меньших скоростей изменения удельной оптической плотности не требуется проводить проверку ухудшения чувствительности извещателя. Так как действует ограничение по п. 4.8 б), в котором указано требование, чтобы для всех скоростей изменения, значение порога чувствительности увеличивалось не более чем в 1,6 раза по сравнению с начальным уровнем формирования сигнала тревоги при отсутствии компенсации.

Наверное, не имеет смысла повторять требования стандарта по процедуре проверки влияния компенсации на чувствительность извещателя при медленном развитии пожара. Эта процедура подробно и в полном соответствии со стандартом EN 54-7 описана в статье [2].

Необходимо только отметить одну существенную деталь: нельзя путать при математической обработке сигнала, поступающего с дымового сенсора, измеряемую физическую величину: удельную оптическую плотность воздуха и величину напряжения на выходе фотоусилителя (инкременты аналогово-цифрового преобразователя), ведь связаны они линейным законом (рис. 4). Именно такие неточности допускались в публикациях [1] и [17]. При больших уровнях фонового сигнала в чистом воздухе, т. е. при существенном значении коэффициента B линейного уравнения, такая компенсация приведет к результатам, не соответствующим стандарту EN 54-7.

Из представленной в стандарте методики видно, что процедура компенсации дрейфа — это длительный по времени процесс, разрушить который может любое прерывание электропитания извещателя, микроконтроллер которого не содержит энергонезависимой памяти или процедура обращения к этой памяти не защищена от случайных сбояв в электропитании изделия. Отсутствие в ГОСТ Р 53325 технических требований по компенсации дрейфа, аналогичные европейскому стандарту, позволяет некоторым производителям дымовых извещателей пиарить свою продукцию, как имеющую «контроль запыленности», хотя в их изделиях используются микроконтроллеры даже без EEPROM...

В нормативных документах на сегодняшний день нет указаний на то, что нужно делать извещателю, когда будет достигнут уровень предельной компенсации дрейфа, или, как говорят на сленге, «запыленности» извещателя. Рекомендуемое приложение Р к своду правил СП5.13130.2009 призывает «выдавать информацию о запыленности», но как это должно быть осуществлено, остается нераскрытым. Достаточно ли индикации на самом извещателе — или он обязан передать информацию о достижении предельной компенсации дрейфа на ППКП? Этот вопрос отдается на откуп разработчикам изделий, так как отсутствуют конкретика технических требований и методика их проверки, которые могут быть изложены только в ГОСТ Р53325.

Выводы

ГОСТ Р53325 не так глубоко гармонизирован с европейскими стандартами, чтобы можно было говорить про единый подход к основным параметрам ИПДОТ.


Вряд ли проверкой чувствительности в дымовом канале можно подменить испытания по тестовым пожарам, хотя определенная корреляция, видимо, существует.

Без высокой стабильности и повторяемости чувствительности, получаемой в процессе серийного производства на уровне

значения 0,1 дБ/м, не имеет особого смысла заниматься компенсацией дрейфа таких извещателей.

Для того чтобы стало возможным обнаруживать наличие дрейфа чувствительности дымового извещателя и проводить его компенсацию, необходимо изменить в лучшую сторону нормативную точность измерительного оборудования.

Нельзя путать при математической обработке микроконтроллером сигнала, поступающего с дымового сенсора, измеряемую физическую величину — удельную оптическую плотность воздуха и величину напряжения на выходе фотоусилителя.

Существует необходимость введения в ГОСТ Р 53325 новых положений, которые были бы увязаны с требованиями п. 13.3.3 и приложения Р СП5.13130.2009. 

Литература:

1. Неплохов И. Г. «Чувствительность дымового извещателя и ее контроль», ж. «Алгоритм безопасности», № 5, 2007.
2. Неплохов И. Г. «Пожарные извещатели: требования стандартов серии EN 54», ж. «Системы безопасности», № 2, 2011.
3. Круглый стол: «Новая редакция ГОСТ Р 53325 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний», ж. «Алгоритм безопасности», № 4, 2013.
4. <http://www.0-1.ru/discuss/?id=22065#46>
5. <http://www.0-1.ru/discuss/?id=19461>
6. <http://www.0-1.ru/discuss/?id=19416#32>
7. СП5.13130.2009 Свод правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.
8. ГОСТ Р 53325-2009 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний».
9. В. Ю. Федоров, Т. А. Буцынская «Математическая модель обнаружения пожара дымовыми точечными извещателями», интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» Вып. № 1, февраль 2012.
10. Баканов В. «Взгляд на пожарные дымовые извещатели через призму тестовых пожаров Часть 1», ж. «Системы безопасности» № 1, 2010.
11. Баканов В. «Взгляд на пожарные дымовые извещатели через призму тестовых пожаров Часть 2», ж. «Системы безопасности» № 2, 2010.
12. Юрий Шл. «Дымовой пожарный извещатель (оптическая камера)». http://oruki.ru/publ/signalizacija/pozharnaja_signalizacija/opticheskaja_kamera_glavnyj_ehlement_dymovogo_pi/6-1-0-40
13. Баканов В. «Высокое качество дымового извещателя недостижимо без повышения точности измерений» ж. «Алгоритм безопасности», № 4, 2012.
14. «Уникальные технологии Тусо» ж. «Алгоритм Б\безопасности» № 3, 2013.
15. Абушкевич В. А., Баканов В. В., Мисевич И. З. Патент на изобретение Российской Федерации № 2306613 «Дымовой пожарный извещатель», бюл. 26, 2007.
16. EN 54-7:2000/A2:2006 Fire detection and fire alarm systems. Part 7: Smoke detectors. Point detectors using scattered light, transmitted light or ionization
17. «Интеллектуальные извещатели и проблемы обеспечения пожарной безопасности». <http://www.chelmash.com.ua/documentation/dopinfo/>