

# АДРЕСНО-АНАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ КАК СРЕДСТВА РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА

*Т. Варламова  
технический специалист ООО ТАС, Северо-Запад*

**В** конце 2008 года после подписания 22 июля 2008 года Президентом Российской Федерации Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», вступающего в силу с 1 мая 2009 года, во Всероссийском научно-исследовательском институте пожарной охраны приступили к разработке новой нормативной базы, соответствующей новому закону.

Данная работа, вообще, была начата еще в 2004 году. Тогда проводились обсуждения подходов и путей их реализации. Журнал «Алгоритм безопасности» был одним из организаторов этого процесса.

Вопросов для обсуждения было много, но в разделе «Пожарная сигнализация» до сих пор не решен вопрос с местом адресно-аналоговых систем пожарной сигнализации. В подготовленных проектах ГОСТ Р «Технические средства пожарной автоматики» и своде правил «Нормы и правила проектирования» часть 1 «Автоматическая пожарная сигнализация и автоматическое пожаротушение» так и не получилось выделить из разряда адресных систем адресно-аналоговые установки пожарной сигнализации. Причин тут несколько, в том числе и отсутствие методики проверки эффективности алгоритмов обнаружения, и невозможность проведения сертификационных испытаний на чувствительность к различным типам пожаров, и нежелание производителей раскрывать возможности (или скорее «невозможности») своей аппаратуры...

В итоге адресно-аналоговые системы

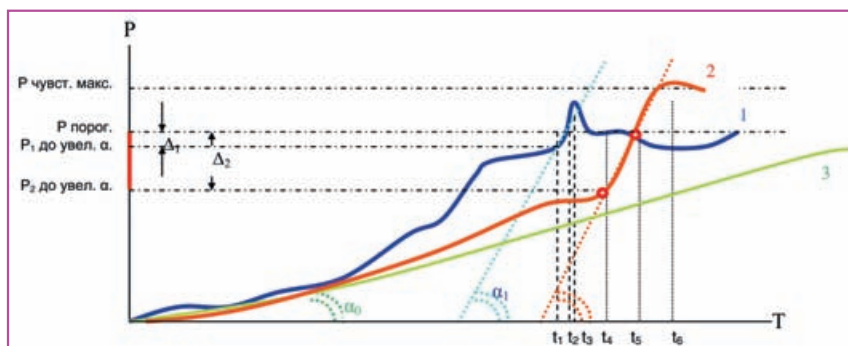
пожарной сигнализации как системы раннего обнаружения опять оказались на уровне теоретических разговоров, терминов и понятий. Попробуем разобраться, при каких условиях можно будет вернуться к обсуждению особой роли этих систем в нормативной базе.

## 1. Что такое адресно-аналоговые системы раннего обнаружения?

Раннее обнаружение возгорания позволяет своевременно эвакуировать людей и еще на начальной стадии пожара произвести запуск автоматической установки пожаротушения. Все ОТВ, кроме воды, имеют ограничения по времени их пуска. Формирование продуктов в виде отравляющих веществ (хладоны), модификация азрозольного ОТВ, низкая эффективность порошковых ОТВ в открытом пламени на второй фазе возгорания порой ограничивают или делают неэффективным их использование при большей задержке на запуск.

Снижение порогов чувствительности точечных дымовых извещателей приводит к ложным срабатываниям пожарной сигнализации и ложным пускам АУПТ. Это вечный компромисс между ранним обнаружением и ложным пуском. Практический опыт показал, что никакие пороговые системы не могут обеспечить раннее обнаружение, принимается ли решение в извещателе или в ППКП, в том числе и адресном. Многие производители позиционируют свои системы как адресно-аналоговые, подразумевая, что в них реализована возможность передачи текущего состояния контролируемого фактора по-

**Рис. 1.1.** Варианты процессов, происходящих в оптическом канале дымовых извещателей



жара (дым, тепло, пламя). Если же начать разбираться в этом моменте, то окажется, что в большинстве систем извещатели передают текущие значения на ППКП уже вместе с готовыми решениями, и большинство ППКП работают именно с принятыми в извещателях решениями. Текущие же значения используются только в ручном режиме управления для выборочной оценки состояния того или иного извещателя.

На рисунке 1.1 представлено три примера процессов, происходящих в оптическом канале дымового извещателя. Во всех трех вариантах на начальном этапе идет процесс накопления пыли в дымовой камере. В первом варианте (кривая 1) из-за некоего ложного воздействия произошло превышение над пороговым уровнем. Во втором варианте (кривая 2) действительно происходит задымление камеры, а в третьем варианте (кривая 3) идет обычное постепенное накопление пыли. Во всех случаях пороговые средства обнаружения при достижении Р порог. сформируют извещение «Пожар».

Как можно различить между собой указанные процессы? Для раннего обнаружения пожара с выделением дыма требуется принимать решение не по пороговому значению оптической плотности, а по скорости ее нарастания, примерно так, как это делается в максимально-дифференциальных тепловых извещателях. Только анализируя скорость нарастания оптической плотности среды можно однозначно уже на раннем этапе возгорания принять решение о пожаре. Какие варианты имеются для оценки скорости нарастания оптической плотности среды?

**Вариант первый.** Скорость характеризуется значением первой производной, а характер ее нарастания или замедления знаком второй производной.

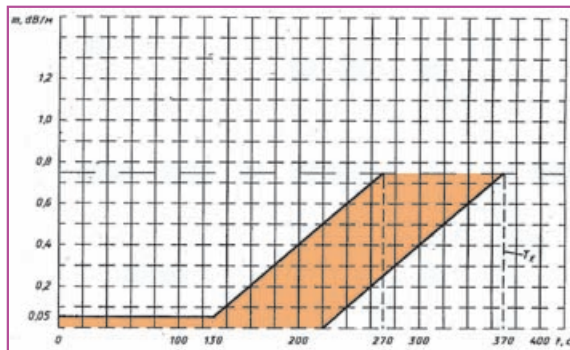
**Вариант второй.** Скорость можно характеризовать по значению автокорреляционной функции  $R(t)$ , путем сравнения текущего ее значения с предыдущим.

**Вариант третий.** Методом максимального последовательного приближения.

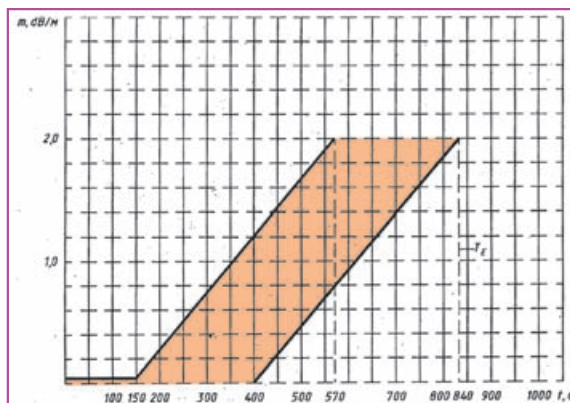
При анализе динамики нарастания оптической плотности среды имеются некоторые сложности, связанные с отсутствием строгой линейности процесса поступления продуктов горения в дымовую камеру извещателя. Только усреднение (интегрирование) получаемых величин за некоторый промежуток времени позволяет однозначно принимать решение об обнаружении пожара. Для этого, во-первых, нужно определиться со временем усреднения, а во-вторых, хранить и обрабатывать в масштабе реального времени достаточное количество значений по каждому извещателю. Наименьшее количество хранимых промежуточных значений присуще второму варианту, а математическая простота – третьему.

Есть ли возможность учесть варианты развития процесса для различных

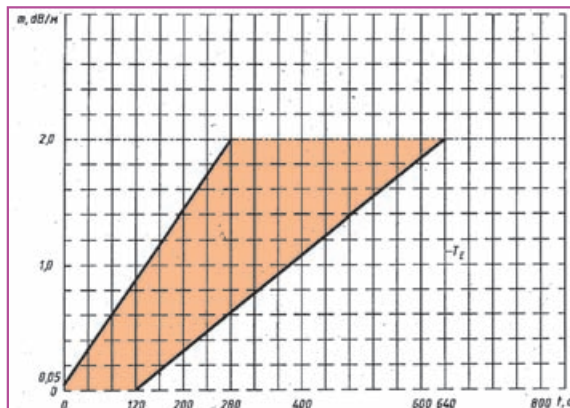
**Рис. 2.1.** Зависимость оптической плотности среды от времени при тестовом пожаре ТП-1 (тление древесины)



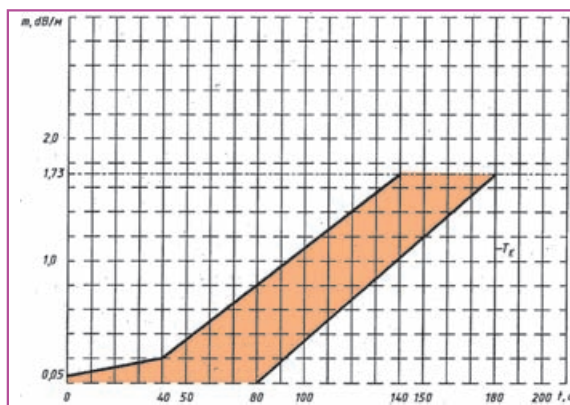
**Рис. 2.2.** Зависимость оптической плотности среды от времени при тестовом пожаре ТП-2 (горение древесины)



**Рис. 2.3.** Зависимость оптической плотности среды от времени при тестовом пожаре ТП-3 (тление хлопка)



**Рис. 2.4.** Зависимость оптической плотности среды от времени при тестовом пожаре ТП-4 (горение пенополиуретана)



**Рис. 2.5.** Зависимость оптической плотности среды от времени при тестовом пожаре ТП-5 (горение смеси гептана и толуола)

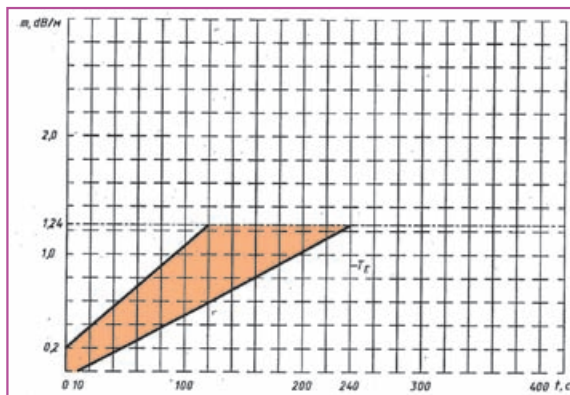




Табл. 1

|          | V мин (дБ/мс) | V макс (дБ/мс) | Тип горения                           |
|----------|---------------|----------------|---------------------------------------|
| ТП1      | 0,004         | 0,005          | Горение древесины                     |
| ТП2      | 0,0045        | 0,0046         | Тление древесины                      |
| ТП3      | 0,0038        | 0,007          | Тление хлопка                         |
| ТП4      | 0,012         | 0,0175         | Горение пенополиуретана               |
| ТП5      | 0,005         | 0,0087         | Горение гептана (97%) и толуола (3%), |
| Выбираем | 0,0038        | 0,0175         | В этот диапазон попадают все ТП1-5    |

Рис. 3.1. Диапазон рабочих скоростей нарастания оптической плотности

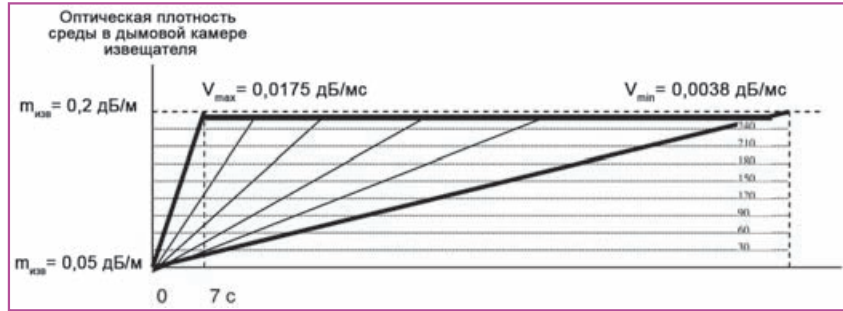


Рис. 4.1. Области реагирования для всех ТП в зависимости от времени и оптической плотности среды

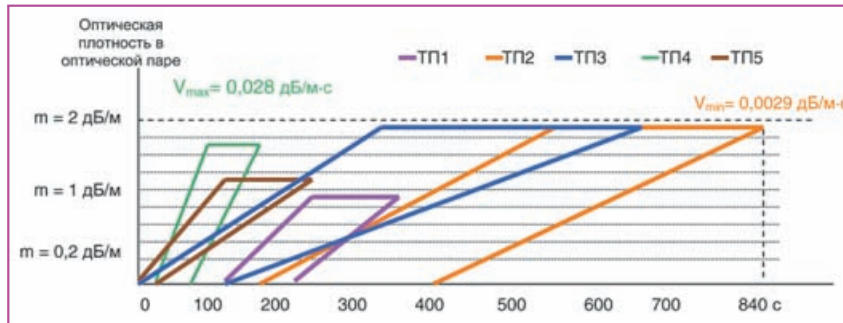


Рис. 4.2. Обобщенная область реагирования для всех ТП в зависимости от времени и оптической плотности среды

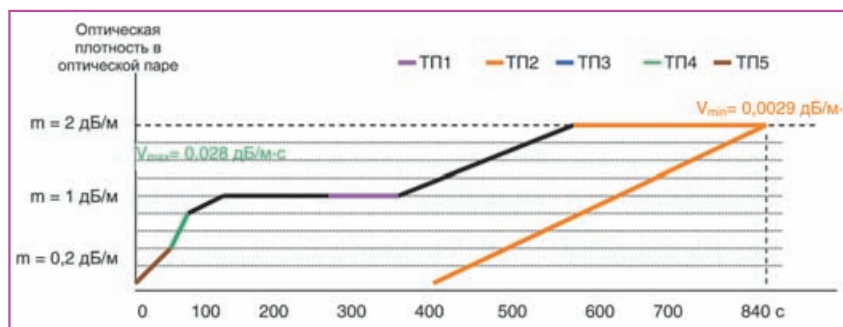
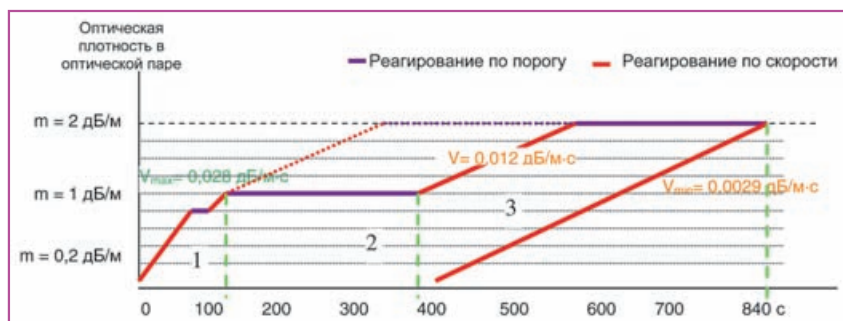


Рис. 4.3. Краевые пределы реагирования



видов пожарной нагрузки? Имеется ли возможность в реальных системах за нормированный промежуток времени принять однозначное решение? В принципе, да.

В качестве основы определения граничных условий при их выборе могут служить графики проведения огневых испытаний, приведенные в ГОСТ Р 50898-96 «Извещатели пожарные. Огневые испытания» и европейском стандарте EN-54 части 7 и 9. Данные графики учитывают многолетний опыт моделирования возгораний с различного типа пожарной нагрузкой.

Однако если в зарубежной методике сертификации данные испытания являются основными при определении чувствительности к пожарам различных типов, то в нашей стране проведение их считалось необязательным, а испытания для дымовых пожарных извещателей проводились только в соответствии с НПБ 65-97 на чувствительность к дыму тлеющего хлопка в испытательном канале.

В новых нормативных документах, которые скоро заменят существующие НПБ, понятие огневых испытаний сохранено и, скорее всего, в дальнейшем они будут являться обязательной составляющей процесса сертификации извещателей.

Надо подчеркнуть, что при проведении огневых испытаний для адресно-аналоговых систем необходимо проводить испытания пары извещатель + АППКП, которая и должна своевременно выявить возгорание, а характер изменения оптической плотности должен соответствовать нормируемому.

## 2. К вопросу о скорости нарастания оптической плотности среды в процессе пожара

Берем нормируемые графики для различных тестовых пожаров (рис. 2.1 – рис. 2.5).

## 3. Вычисляем нормируемые скорости из приведенных графиков

Нормируемые скорости увеличения оптической плотности среды для разных тестовых пожаров приведены в таблице 1.

Определяем граничные условия обнаружения пожара в дымовой камере извещателя.

В графике, приведенном на рисунке 3.1, не учтено время конвекционного движения продуктов горения от очага до дымовой камеры извещателя, в усредненном варианте равном 40-60 с ((4 м вверх + 3 м до извещателя)/0,2 м/с), но извещатели этот процесс контролировать не могут, и это характеризует отставание процесса обнаружения от процесса формирования продуктов горения. Эта величина хорошо видна на развитии ТП4 (рис. 2.4).

В итоге можно утверждать, что если производить анализ изменения оптической

ской плотности среды в пределах скоростей  $V_{\text{мин}} = 0,0038$  (дБ/м·с) и  $V_{\text{макс}} = 0,0175$  (дБ/м·с), то при определенных технических решениях уже на самом начальном этапе можно с достаточно большой вероятностью обнаруживать возгорание.

Однако это идеальный случай, когда в дымовую камеру поступает весь дым от тестового очага пожара. Реально законы распространения дыма в помещении иные и скорость нарастания оптической плотности среды в дымовой камере извещателя несколько иная. Соотношение скоростей нарастания оптической плотности среды в помещении и в дымовой камере извещателя в первую очередь определяется конструктивными особенностями конкретного извещателя и носит очень сложный характер.

#### 4. Анализ взаимосвязи оптической плотности от времени при огневых испытаниях

В соответствии с EN 54-7 и 54-9, в первую очередь исследуется сама возможность своевременного обнаружения возгорания в помещениях с помощью имеющихся технических средств пожарной сигнализации. На это направлены и огневые испытания, методику которых планируется перенести из ГОСТ Р 50898 «Извещатели пожарные. Огневые испытания» в проект ГОСТ Р «Техника пожарной. Технические средства пожарной автоматики».

Для этого необходимо уйти от некоего диапазона чувствительности дымового точечного извещателя 0,05-0,2 дБ/м (НПБ 65-97) и посмотреть на предельное время обнаружения извещателем возгораний при огневых испытаниях. При этом процесс моделируется не путем постепенного заполнения аэрозолем извещателя в дымовом канале, а размещением извещателей в помещении с тестовыми пожарами, в максимально приближенных к реальности условиям.

Очевидно, что предельное время обнаружения минимально для ТП4 и равно 140 сек при достижении оптической плотности среды  $m=1,73$  дБ/м, а для ТП2 время обнаружения возгорания при  $m=2$  дБ/м уже равно 840 сек.

На *рисунке 4.1* отображены нормируемые области реагирования пожарных извещателей к различным тестовым пожарам в зависимости от времени. Если попробовать обобщить эти области таким образом, чтобы система пожарной сигнализации, включающая адресно-аналоговый извещатель и АППКП, имела требуемую чувствительность к ТП1-ТП5, то получится график, приведенный на *рисунке 4.2*.

Получив обобщенную область реагирования, на ней можно определить крайние пределы контролируемых или вычисляемых параметров.

На *рисунке 4.3* можно выделить три основных самостоятельных областей.

Первая область располагается в районе  $T \approx 100$  с. Данная область связана с повышенной скоростью нарастания оптической плотности, равной 0,028 дБ/м·с и определяемой ТП4 и ТП5. Вызвана такая скорость нарастания оптической плотности среды повышенной выделяемой температурой при горении пенополиуретана или гептана. Эти тестовые пожары имеют верхние пороги оптической плотности, равные 1,73 и 1,24 дБ/м соответственно. Указанная область дополнительно характеризуется особенностью продуктов горения, которые достаточно сложно обнаружить с помощью оптико-электронных извещателей, это так называемые темные дымы.

В данной области производить анализ нарастания оптической плотности по значению скоростей очень трудно из-за недостаточного для этого промежутка времени. С другой стороны, именно в этой области происходят ложные срабатывания, и ограничиваться принятием решения только по пороговому значению оптической плотности крайне опасно. За указанный промежуток времени вполне можно получить от 5 до 10 значений скорости нарастания, после чего уже будет достаточно оснований принять решение непосредственно по порогу.

Вторая область характеризует развитие ТП1 и ТП3. В нормах EN 54-7 огневых испытаний для точечных дымовых извещателей на ТП1 не предусмотрено, поэтому верхний порог оптической плотности по этим нормам для этой области не 0,75 дБ/м, а 2 дБ/м, что отображено пунктиром. Средние скорости нарастания оптической плотности в данной области составляют порядка 0,012-0,015 дБ/м·с. За промежуток 250-350 с вполне реально получить от извещателя 20-40 текущих значений задымленности для вычисления скорости нарастания оптической плотности, чтобы уже по этим значениям принять решение о пожаре.

Третья область характеризует развитие ТП2. Эта область характеризуется минимальной скоростью нарастания оптической плотности из-за пониженной температуры очага. Этим объясняется предельно максимальное время проведения испытаний. В данной области возможен пропуск пожара при неправильно работающем алгоритме компенсации запыленности дымовой камеры в точечном оптико-электронном дымовом извещателе. Поэтому периодичность цикла проведения указанной компенсации не должна быть чаще 20-30 минут, а глубина компенсации не должна понижать номинальную чувствительность извещателя более чем в 1,6 раз (п. 4.8 b EN 54-7).

#### 5. Практическая реализация динамического анализа текущих значений контролируемых факторов пожара

Если не принимать соответствующих мер при обработке текущих значений кон-

тролируемых факторов пожара, поступающих от извещателей, то системой раннего обнаружения такая установка пожарной сигнализации не будет.

В адресно-аналоговых системах скорость обмена АППКП с извещателями, как правило, не превышает 1200 бит/с, в противном случае длина адресной сигнальной линии значительно сокращается, или она должна иметь другое техническое исполнение. При количестве устройств в адресной сигнальной линии порядка 150-200 периодичность опроса каждого из них в большинстве ППКП составляет от 10 до 60 с.

При пороговом обнаружении пожара по конкретному адресному извещателю имеем два промежутка времени – достижение в нем порогового значения оптической плотности и доставка этого извещения на ППКП.

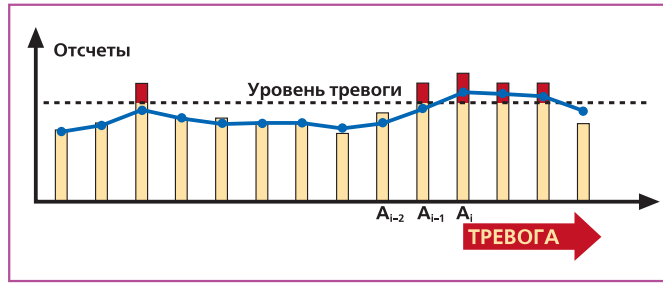
Время достижения порогового значения связано с характером возгорания и чувствительностью извещателя и реально может составлять от 60 до 1000 с от начала возгорания. Иногда оно делится на два этапа – обнаружение предварительного порога («Внимание») в режиме повышенной чувствительности извещателя с последующим переводом его в режим номинальной чувствительности и регистрация самого порога («Пожар»). В любом случае это пороговый способ обнаружения, независимо, где он реализован – в извещателе или в ППКП.

Время доставки и обработки нормируется и не должно превышать 10 с. Чтобы уложиться в приемлемые рамки по доставке извещений, в протоколах обмена часто применяют режим прерываний, при котором по получению обобщенного извещения о пожаре вместо циклического опроса адресов включается система поиска по группам (сканирование) адреса сработавшего извещателя. Необходимо отметить, что в данной статье не делается попытки заменить пороговый способ обнаружения на динамический. Речь идет о дополнительных возможностях при принятии решения об обнаружении возгорания. Пороговое принятие решение, в т.ч. и самим извещателем ни в коем случае не исключается.

Можно ли за 100 сек с достаточно большой достоверностью выявить возгорание на основе анализа динамики изменений текущих значений? Вполне. Вот элементарный для этого алгоритм:

- при каждом цикле опроса типа 1-2-3-4-...-N-(N+1)...запоминаются текущие значения от извещателей;
- при обнаружении изменения текущего значения на установленную величину по адресу N по сравнению с предыдущим значением система меняет структуру цикла: 1-2-3-N-4-5-6-N-7-8-9-N... и т.д.;
- в таком режиме на протяжении 10-30 с можно получить по этому адресу не 1-2, а от 40 до 100 текущих зна-

Рис. 5.1.  
Вычисление  
огibaющей



чений, что вполне достаточно для подробного анализа происходящего в извещателе процесса;

- по принятию решения об обнаружении пожара по адресу N структура цикла опроса должна быть восстановлена, а в сам этот извещатель передано квитирующее сообщение;
- после этого система готова работать в изначальном режиме и выявлять изменения уже по другим адресам.

Учитывая то, что в реальных условиях развития пожара будет происходить перемещение дыма от извещателя к извещателю, то по мере этого движения один адрес с повышенной частотой опроса будет замещаться другим или несколькими другими.

Если за время, предшествующее установленному пороговому значению, будет получено даже совсем небольшое количество таких текущих значений, то и их в совокупности с пороговым будет вполне достаточно, чтобы принять однозначное решение, пускай даже оно и не будет таким уж ранним. Это уже комбинированный способ принятия решения о пожаре (динамика вместе с порогом).

Например, в системе FX NET (ранее ESA) применяется алгоритм вычисления огибающей по нескольким последним измеренным текущим значениям и решение о пожаре принимается именно по значению огибающей (рис. 5.1).

Во время огневых испытаний пары адресно-аналоговый извещатель и ППКП с помощью измерителя оптической плотности среды можно оценить эффективность применяемых алгоритмов раннего обнаружения.

В отличие от извещателей с устанавливаемыми порогами срабатывания при анализе динамики нарастания оптической плотности, переустанавливать пороги в извещателях не требуется, зато можно в зависимости от характера пожарной нагрузки в тех или иных зонах контроля пожарной сигнализации в целях снижения вероятности ложных срабатываний изменять в ППКП диапазон регистрируемых скоростей нарастания оптической плотности среды.

Еще одна очень интересная тема – это взаимосвязь извещателей в одной общей зоне контроля в виде общего для этих извещателей помещения.

При выше приведенном алгоритме можно на очень ранней стадии по резуль-

татам нескольких измерений с небольшой вероятностью выявить пожар по одному из извещателей, не принимая об этом окончательного решения. Зная адреса извещателей M и P, установленных в этом же помещении, имеется возможность организовать уже модифицированную структуру цикла: N-M-1-2-3- N-P-4-5-6- N-M-7-8-9-N-P ...

При расстоянии 6-10 м между извещателями, установленными в одном помещении, текущие значения контролируемых факторов пожара от них, естественно, будут сильно между собой отличаться, но скорость нарастания оптической плотности в них будет абсолютно аналогична, т.к. характер пожарной нагрузки (состав, масса) и условия распространения продуктов сгорания (температура окружающего воздуха, влажность, атмосферное давление) у них одинаковые, и только первые признаки наличия самих этих продуктов проявятся с задержкой 40-60 с. Этот процесс еще называют нахождением корреляции в зоне контроля пожарной сигнализации.

Подобные алгоритмы успешно применены, причем достаточно давно, например, в системе FX NET. В данной аппаратуре реализован анализ процессов в группе лазерных извещателей, установленных в одном помещении (зоне) следующим образом. АППКП, получая текущие значения от извещателей группы, пропорционально преобразует их для дальнейшего анализа так, что значения попадают в диапазон от 0 до 1 (0 – исходная точка, 1 – максимальный предел, на подробностях выбора 0 и 1 здесь останавливаться не будем). Далее вычисляется сумма квадратов текущих значений  $\Sigma^2 = A^2 + B^2 + C^2$ , если  $\Sigma^2 \geq 1$ , то принимается решение о пожарной тревоге. Таким способом за достаточно небольшой промежуток времени имеется возможность выявить пожар с очень высокой вероятностью.

Если динамический анализ текущих значений еще можно заложить в сам извещатель, то корреляцию между отдельными извещателями можно реализовать только в ППКП.

Надо ли продолжать полноценный анализ динамики нарастания оптической плотности среды после обнаружения его по адресу N? Видимо, необязательно, т.к. в процессе развития пожара количество извещателей с повышенным уровнем ды-

ма будет геометрически увеличиваться и здесь достаточно будет срабатываний извещателей по установленному в них пороговому уровню, а первичная информация о пожаре получена более чем своевременно, оповещение о пожаре уже будет запущено.

При реализации приведенных алгоритмов возможны различные варианты запуска технических средств пожарной автоматики.

Первый. При рассмотрении зоны, защищаемой АУПТ, решение о начале оповещения можно принять по результатам анализа в одном извещателе и начать эвакуацию из этой зоны еще до принятия решения по второму извещателю. Разница по времени начала эвакуации при таком алгоритме, по сравнению с пороговым, будет очень существенна. Если учесть, что, как правило, в защищаемых зонах оповещение включается так же, как и АУПТ по двум извещателям, то разница еще больше увеличивается.

Второй. Даже если на объекте предусмотрено оповещение 4-5 типа с запуском от двух извещателей, кто будет возражать против запуска оповещения в конкретном защищаемом АУПТ помещении по 1-3 типу от одного извещателя с последующим запуском от второго извещателя полноценной системы оповещения? Люди из защищаемой АУПТ зоны будут эвакуированы, и она будет готова к подаче в нее ОТВ.

Третий. Решение на запуск АУПТ должно приниматься по двум извещателям, но при алгоритме корреляционной обработки это можно сделать намного раньше при условии своевременной эвакуации людей из защищаемой зоны. Отсчет задержки на запуск АУПТ можно привязать к запуску оповещения по одному извещателю, главное – правильно рассчитать требуемое время эвакуации.

Применение данных алгоритмов значительно увеличивает вероятность своевременной эвакуации людей и ликвидации очага возгорания на самом начальном этапе его распространения.

А вот это как раз и есть задача систем раннего обнаружения.

В настоящее время предлагается достаточно большое количество систем, которые производители и поставщики позиционируют как адресно-аналоговые, делая акцент на их исключительных возможностях обнаружения. Необходимо оценить, насколько эффективны алгоритмы обработки, заложенные в АППКП, проведя необходимые испытания, и по результатам уже делать выводы о соответствии (либо несоответствии) требованиям, разрешающим установку и запуск систем противопожарной автоматики от одного пожарного извещателя. Проект новой нормативной базы этому не препятствует, а предусмотренные в ней огневые испытания предоставляют для установки необходимый инструмент.