

УДК 614.8

Б.Б. Поспелов, Р.М. Полстянкин

Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРОПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГОРАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГРУППЫ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Рассматриваются конструктивные подходы к решению проблемы повышения эффективности пожаропредупредительной автоматики, базирующиеся на системном подходе и совместной оптимизации измерителей физических компонентов загораний и группового комбинированного порогового устройства.

Ключевые слова: пожаропредупредительная автоматика, измеритель физических компонентов очага загораний, автоматическое обнаружение загораний, комбинированное пороговое устройство.

Введение

Постановка проблемы. Существующий этап развития цивилизации характеризуется значительным ростом числа и масштабов различных пожаров, а также наносимого ими ущерба. Это указывает на актуальность совершенствования методов и средств раннего обнаружения загораний с целью своевременного предупреждения о пожароопасных ситуациях. Одним из основных направлений в области борьбы с пожарами является разработка эффективной пожаропредупредительной сигнализации, с широким использованием автоматического обнаружения загораний.

Однако, высокий процент ложных срабатываний существующих систем пожаропредупредительной сигнализации свидетельствует о недостаточной их эффективности.

Данное обстоятельство указывает на актуальность проведения научных исследований в области повышения эффективности систем пожаропредупредительной сигнализации на основе оптимизаций обнаружения очагов загораний. При этом эффективность указанных систем существенно зависит от достоверности и точности информации на выходе измерителей первичных извещателей. Это в свою очередь требует решения проблемы синтеза наилучших (оптимальных в смысле заданных критериев) измерителей опасных факторов загораний и методов их обнаружения.

Анализ последних достижений. Оптимизации и идентификации параметров различных измерителей, используемых в существующих пожарных извещателях, посвящены работы [1 – 4]. Однако в этих работах исследования выполнены применительно к заданной структуре измерителей.

Оптимизация структуры и параметров измерителей опасных факторов загораний, а также методов обработки результатов измерения при этом не рассматриваются.

Основной раздел

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является повышение эффективности пожаропредупредительной автоматики на основе оптимизации структуры и параметров измерителей опасных факторов загораний, а также методов обработки результатов измерений группы извещателей.

Пусть пожарная обстановка в контролируемой области характеризуется наличием опасных факторов (W_p) загорания и сопутствующих им фоновых флуктуаций (σ_f). Тогда указанную обстановку с точки зрения задачи обнаружения загораний математически можно описать некоторым функционалом:

$$\xi = \varphi(W_p, \sigma_f), \quad (1)$$

где ξ – произвольный результат решения задачи обнаружения загораний.

При этом система автоматического обнаружения загораний (САОЗ), описываемая (1), может быть представлена в виде подсистемы первичных извещателей (ПСПИ), описываемых функционалом $\varphi_2(W_p, \sigma_f)$, и подсистемы обработки этих данных (ПСОД), описываемой функционалом φ_1^* (рис. 1). Подсистема ПСПИ объединяет группу извещателей загораний, эффективность которых характеризуется вероятностью правильного обнаружения (D_s) и вероятностью ложного обнаружения (F_s). На вход ПСПИ воздействует аддитивная смесь физических компонентов очага загораний W_p и мешающих фоновых воздействий σ_f , определяемых реальной пожароопасной обстановкой в контролируемой области. Порог обнаружения загораний ($U(F_s, \sigma_f)$) для контролируемой области определяется в ПСПИ, исходя из допустимой вероятности F_s ложного обнаружения очага загораний (ложной тревоги) и за-

данного уровня фоновых флуктуаций σ_f . Выходные данные ПСПИ представляют собой вектор текущих решений, полученных от каждого из группы извещателей о наличии (H_{s_1}) или отсутствии (H_{s_0}) загораний. Последующая обработка этих решений в соответствии мажоритарным правилом (порогом

k/n , где k – количество извещателей обнаруживших загорание, а n – общее количество извещателей) позволяет сформировать на выходе ПСОД скалярное решение для группы извещателей о наличии (H_1) или отсутствии (H_0) загорания в контролируемой области.

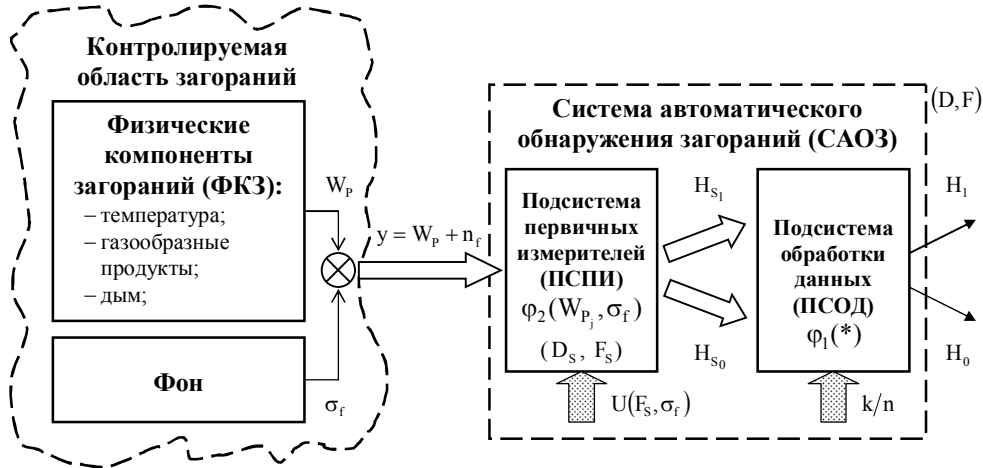


Рис. 1. Структура системы автоматического обнаружения загораний на основе группы извещателей

В этом случае интегральный показатель эффективности CAOZ будет определяться интегральной вероятностью правильного (D) и ложного (F) обнаружения загораний. При этом максимальная эффективность обнаружения будет обеспечиваться оптимальной CAOZ, для которой вероятность правильного обнаружения (D) стремится к единице и при этом вероятность ложного обнаружения (F) стремится к нулю.

В общем случае повышение эффективности CAOZ может достигаться на основе оптимизации рабочих характеристик $D = \psi_1(F)|_y$ или характеристик обнаружения $D = \psi_2(y)|_F$. Анализ элементной структуры CAOZ на рис. 1 свидетельствует, что по функциональному назначению их можно разделить на измерительные и пороговые элементы. Поэтому в качестве базовых элементов будем рассматривать измерители извещателей и комплексное пороговое устройство в составе пороговых устройств извещателей и ПСОД (рис. 2). Следуя рис. 2 повышение эффективности CAOZ возможно осуществить на основе двух подходов (рис. 3). Первый подход (I) базируется на оптимизации только комплексного порогового устройства при условии заданных измерителей в извещателях. Данный подход предполагает использование существующих измерителей промышленных образцов пожарных извещателей. Второй подход (II) базируется на совместной оптимизации измерителей и комплексного порогового устройства. Данный подход обладает наибольшими возможностями по повышению эффективности CAOZ, поскольку основывается на совместной

структурно-параметрической оптимизации измерителей и комплексного порогового устройства.

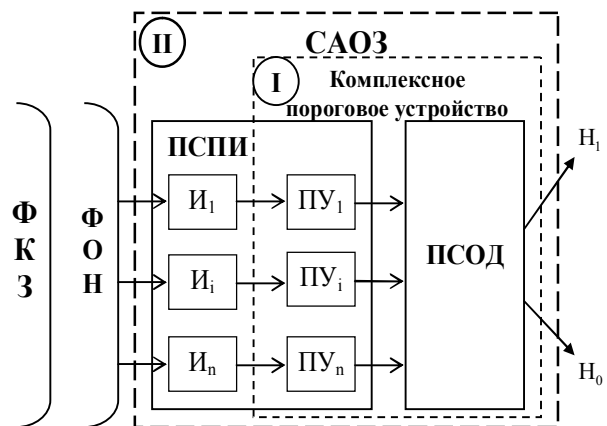


Рис. 2. Базовые элементы CAOZ пожаропредупредительной автоматики

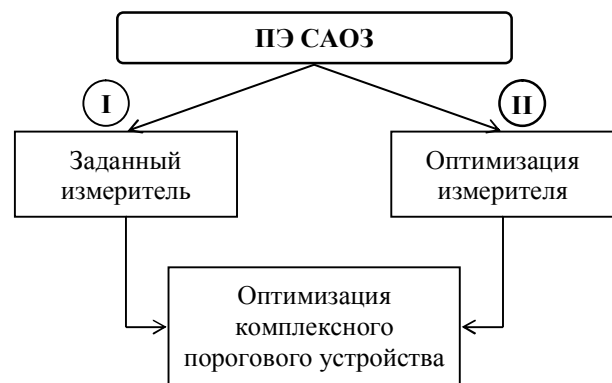


Рис. 3. Возможные подходы повышения эффективности CAOZ

Следуя рис. 3, возможные подходы различаются типом используемых измерителей ФКЗ. В отличие от структурного неструктурный подход к оптимизации измерителя позволяет не только отыскивать его оптимальную структуру среди всех возможных измерителей для заданных условий, но и оценивать потенциальные (предельные) характеристики, и определять степень совершенства существующих измерителей первичных извещателей и предлагаемых решений по их улучшению, а также выбирать пути их эффективной модернизации. В этой связи представляется важным сравнение двух подходов на примере тестового очага загорания.

Следуя рассматриваемым подходам, уравнение наблюдения, описывающее процесс на входе измерителей ФКЗ на интервале $[0, T]$, может быть представлено в общем виде [5, 6]:

$$y(t) = W_p(t) + n(t), \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

где $n(t)$ – мешающий фон, действующий на входе измерителя при наблюдении произвольного компонента $W_p(t)$ очага загорания. Пусть мешающий фон описывается гауссовым процессом с нулевым средним и равномерной спектральной плотностью $N/2$ [5].

В качестве тестового очага загорания будем рассматривать модель, описывающую случайную динамику физических компонентов загорания в виде уравнений:

$$\begin{cases} W_p(0) = W_{p_0}; \\ \frac{dW_p(t)}{dt} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь наблюдаемый произвольный компонент $W_p(t)$ очага загорания описывается гауссовой случайной величиной с заданным средним значением и дисперсией $D_{W_p} = D_a$. Например, такая модель соответствует случаю ФКЗ, характеризующего темпе-

ратуру газовой среды в помещении.

С учетом (2) и (3) для рассматриваемой тестовой ситуации оптимальный измеритель ФКЗ можно представить в виде [5,6]:

$$K^{-1}(t) \frac{d\widehat{W}_p(t)}{dt} + \widehat{W}_p(t) = y(t), \quad (4)$$

где $\widehat{W}_p(t)$ – оптимальная оценка случайного физического компонента загорания $W_p(t)$; $K(t)$ – переменный во времени коэффициент усиления измерителя, определяемый

$$K(t) = \frac{2D(t)}{N}, \quad (5)$$

где $D(t)$ – текущая дисперсия погрешности оценки $\widehat{W}_p(t)$.

Таким образом, оптимальный измеритель для тестовой модели (3) можно представить в окончательном виде:

$$\frac{d\widehat{W}_p(t)}{dt} = K(t)[y(t) - \widehat{W}_p(t)]. \quad (6)$$

В рассматриваемом случае уравнение текущей дисперсии погрешности оценки имеет вид:

$$\frac{dD(t)}{dt} = -2 \frac{dD^2(t)}{N}. \quad (7)$$

При этом решение уравнения (7) будет определяться функцией

$$D(t) = \frac{D_{W_p} N}{(N + 2D_{W_p} t)}. \quad (8)$$

Соотношения (6) и (8) определяют структуру и параметры оптимального измерителя наблюдаемого физического компонента загорания $W_p(t)$ в тестовых условиях. Структура оптимального измерителя (6) приведена на рис. 4, а.

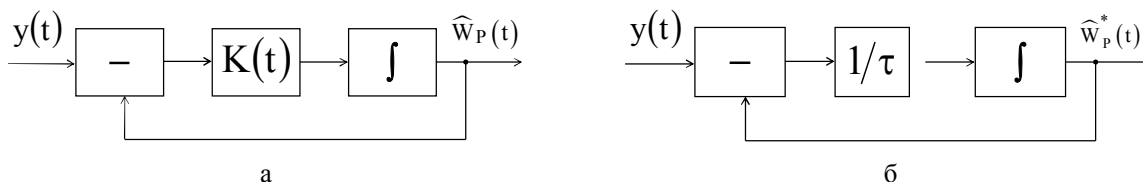


Рис. 4. Структурные схемы измерителей ФКЗ: а – оптимальный измеритель; б – существующий измеритель

Для рассматриваемой модели наблюдений ФКЗ оптимальный измеритель является нестационарным и следящим. При этом нестационарный характер определяется изменением коэффициента передачи $K(t)$ во времени t , а также зависит от спектральной плотности

фона N и дисперсии D_{W_p} наблюдаемого ФКЗ.

В частном случае, когда мешающий фон отсутствует или D_{W_p} значительно превышает N , $K(t) \approx 1/t$, т. е. коэффициент передачи оптимально-

го измерителя обратно пропорционален времени t . Это означает, что в начальный момент времени $t \rightarrow 0$ коэффициент $K(t) \rightarrow \infty$, а в случае $t \rightarrow \infty$ коэффициент $K(t) \rightarrow 0$. В последнем случае оптимальный измеритель отключается от входных наблюдений, сохраняя на выходе интегратора (рис. 4, а), сформированную оценку $\widehat{W}_p(t)$ наблюдаемого ФКЗ. При этом дисперсия такой оценки, следуя (8), стремится к нулю. Следовательно, с увеличением интервала наблюдения оценка $\widehat{W}_p(t)$ на выходе оптимального измерителя может быть сколь угодно близкой к истинному значению рассматриваемого случайного ФКЗ.

Существующие измерители ФКЗ (рис. 4, б), используемые в пожарных извещателях, описываются уравнением вида [1 – 3]:

$$\tau \frac{d\widehat{W}_p^*(t)}{dt} + \widehat{W}_p^*(t) = y(t), \quad (9)$$

где τ – постоянная времени измерителя (для тепловых пожарных извещателей постоянная времени составляет 20с и 60с); $\widehat{W}_p^*(t)$ – оценка ФКЗ $W_p(t)$ при использовании традиционного измерителя. Значение постоянной времени τ измерителя, представленного на рис. 4, б, фиксировано и задается при производстве извещателей.

Зависимости дисперсии оценки (точности измерения) ФКЗ от величины нормированного времени (относительно 20 с) в оптимальном и традиционном измерителях при одинаковых тестовых условиях, характеризуемых величиной $q = D_a / N$, изображены на рис. 5.

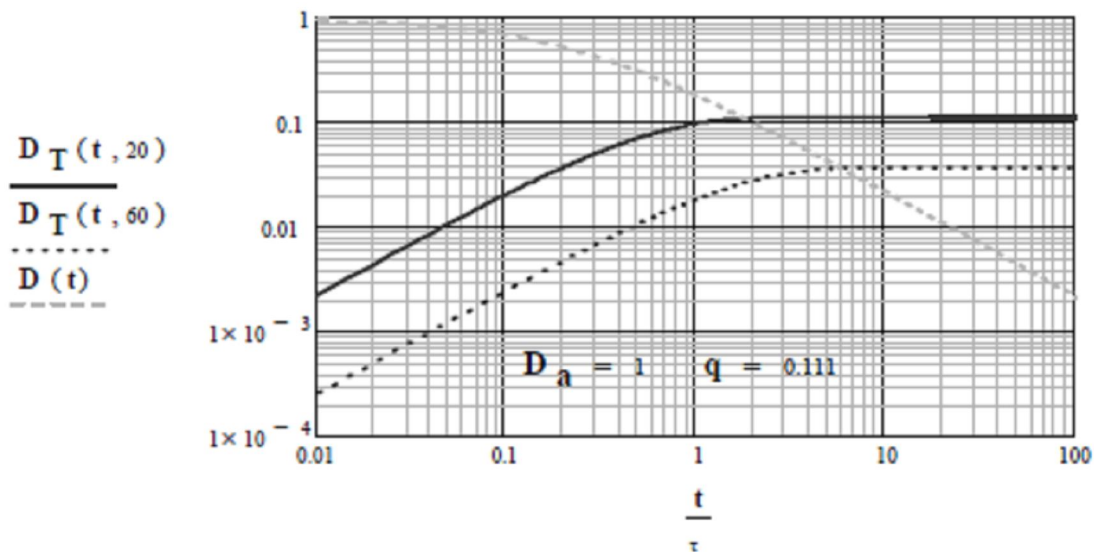


Рис. 5. Сравнение эффективности оптимального измерителя ($D(t)$) и традиционного (D_T)

Из представленных данных следует, что традиционный измеритель оценивает ФКЗ в тестовых условиях с конечной дисперсией, зависящей от величины его постоянной времени. Чем больше постоянная времени, тем меньше дисперсия. Поэтому для повышения эффективности автоматического обнаружения очага загораний необходимо использовать измерители с большой величиной постоянной времени. При этом необходимо учитывать, что общее время обнаружения загорания в этом случае будет увеличиваться.

В оптимальном измерителе в аналогичных тестовых условиях дисперсия оценки ФКЗ стремится к нулю с увеличением времени наблюдения. Это означает, что применение рассмотренного оптимального измерителя в тепловых пожарных извещателях позволит с увеличением времени существенно

уменьшить дисперсию сигнала, поступающего на вход порогового устройства, и тем самым повысить эффективность автоматического обнаружения загораний. При этом начальная дисперсия оценки ФКЗ определяется дисперсией истинного физического компонента очага загорания. Так, например, для момента времени $t \approx 4\tau$ обеспечиваемая оптимальным измерителем точность оценки ФКЗ (дисперсия оценки) в 5 раз превышает точность традиционного измерителя теплового пожарного извещателя. Для моментов времени $t > 4\tau$ выигрыш в точности увеличивается.

Таким образом, показано, что реализация второго подхода при прочих равных условиях на основе оптимизации измерителей ФКЗ позволят существенно повысить как точность оценки ФКЗ, так и эффективность автоматического обнаружения очага

загораний в різних типах систем пожаропредупредительной автоматики.

Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на решении задачи совместной оптимизации двух порогов в комбинированном пороговом устройстве и анализе ожидаемого выигрыша. Это в свою очередь будет свидетельствовать о возможности существенного увеличения эффективности автоматического обнаружения загораний с помощью предлагаемых методов оптимизации обработки данных наблюдения группой извещателей.

Выводы

1. Предложен новый подход к решению проблемы повышения эффективности автоматического обнаружения загораний, отличающийся совместной оптимизацией измерителей ФКЗ в извещателях и группового комбинированного порогового устройства.

2. Установлено, что традиционные измерители тепловых пожарных извещателей совпадают по структуре с оптимальными измерителями для тестовых условий, но отличаются фиксированной величиной постоянной времени. При этом традиционные измерители обладают недостаточной точностью и ограничивают возможности повышения их быстродействия. Использование оптимальных измерителей в тепловых пожарных извещателях позволяет в 5 раз повысить точность измерения ФКЗ, что обеспечивает более высокие показатели вероятности правильного и ложного обнаружения загораний.

3. Из анализа приведенных данных следует, что обеспечение высокой достоверности обнаружения загораний и одновременно низкой вероятности их ложного обнаружения с использованием одного

контролируемого ФКЗ, возможно только при существенном превышении его энергии средней энергии мешающего фона.

4. Показано, что повышение эффективности автоматического обнаружения загораний в сложных условиях наблюдения может быть осуществлено на основе группы измерителей и комбинированного порогового устройства.

Список литературы

1. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Х.: МОУ, 1993. – 288 с.
2. Абрамов Ю.А. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь. – Х.: АГЗУ, 2005. – 121 с.
3. Садковой В.П. Теоретические основы автоматического тушения пожаров класса В распыленной водой / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов. – Х.: НУГЗУ, 2010. – 267 с.
4. Рыжов А.М. Моделирование пожаров в помещениях с учетом горения в условиях естественной конвекции / А.М. Рыжов // Физика горения и взрыва. – 1991. – Т. 27, № 3. – С. 40-47.
5. Поспелов Б.Б. Синтез оптимального измерителя постоянного во времени случайного уровня опасных факторов чрезвычайных ситуаций / Б.Б. Поспелов, Р.И. Шевченко, О.Ю. Приходько // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2012. – Вип. 16. – С. 85-94.
6. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

Поступила в редколлегию 4.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.И. Адаменко, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПОЖАРОПОПЕРЕДЖУВАЛЬНОЇ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИЯВЛЕННЯ ЗАГОРЯННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГРУПИ СПОВІЩУВАЧІВ

Б.Б. Поспелов, Р.М. Полстянкин

Розглядаються конструктивні підходи до вирішення проблеми підвищення ефективності пожаропереджувальної автоматики, що базуються на системному підході і спільної оптимізації вимірювачів фізичних компонентів загорянь та групового комбінованого порогового пристрою.

Ключові слова: пожаропереджувальна автоматика, вимірювач фізичних компонентів вознища загорянь, автоматичне виявлення загорянь, комбінований пороговий пристрій.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF AUTOMATIC FIRE WARNING ON THE BASE OPTIMIZATION FINDING INFLAMATIONS BY THE USE DETECTORS GROUP

B.B. Pospelov, R.M. Polstiankin

We consider constructive approaches to the problem of improving the efficiency of automatic fire warning based on a system approach and joint optimization of measuring physical components inflammations and group combined threshold device.

Keywords: automatic fire warning, measuring physical components of inflammations, automatic finding inflammations, group combined threshold device.