

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 ( $\sigma_f$ ). Тогда указанную обстановку с точки зрения задачи обнаружения загораний математически можно описать некоторым функционалом:

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

где  $\xi$  – 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  $\varphi_1^*$  (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  $\sigma_f$ , 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  $\sigma_f$ . 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.

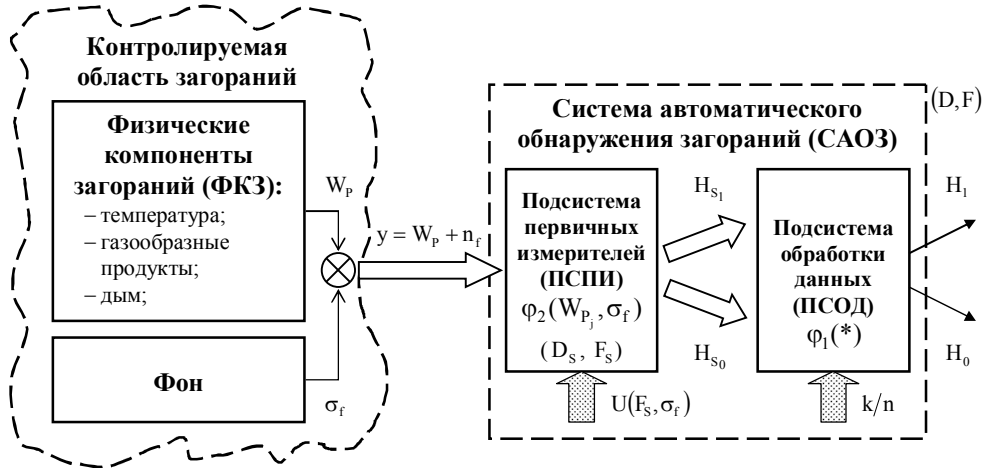


Рис. 1. Структура системы автоматического обнаружения загораний на основе группы извещателей

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.

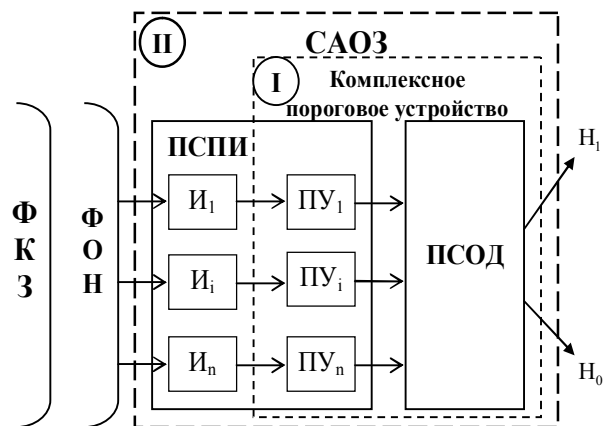


Рис. 2. Базовые элементы CAOZ пожаропредупредительной автоматики

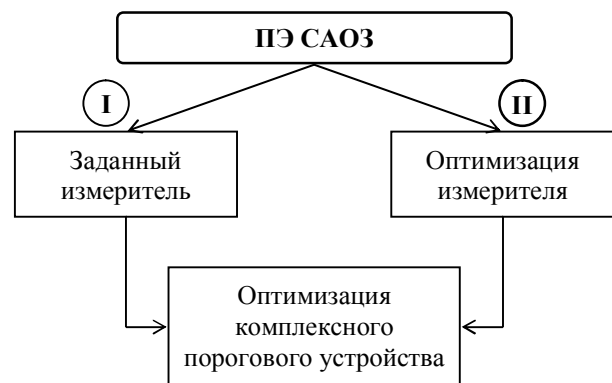


Рис. 3. Возможные подходы повышения эффективности CAOZ

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.

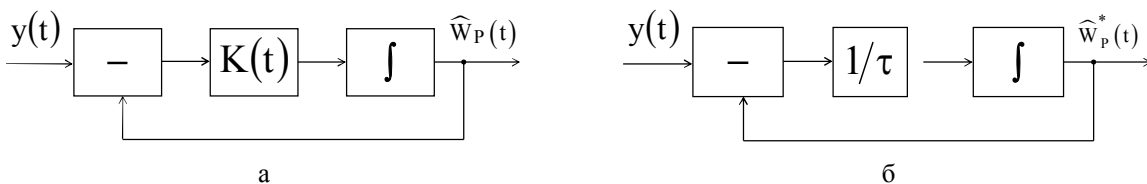


Рис. 4. Структурные схемы измерителей ФКЗ: а – оптимальный измеритель; б – существующий измеритель

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  $\tau$  – 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  $\tau$  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.

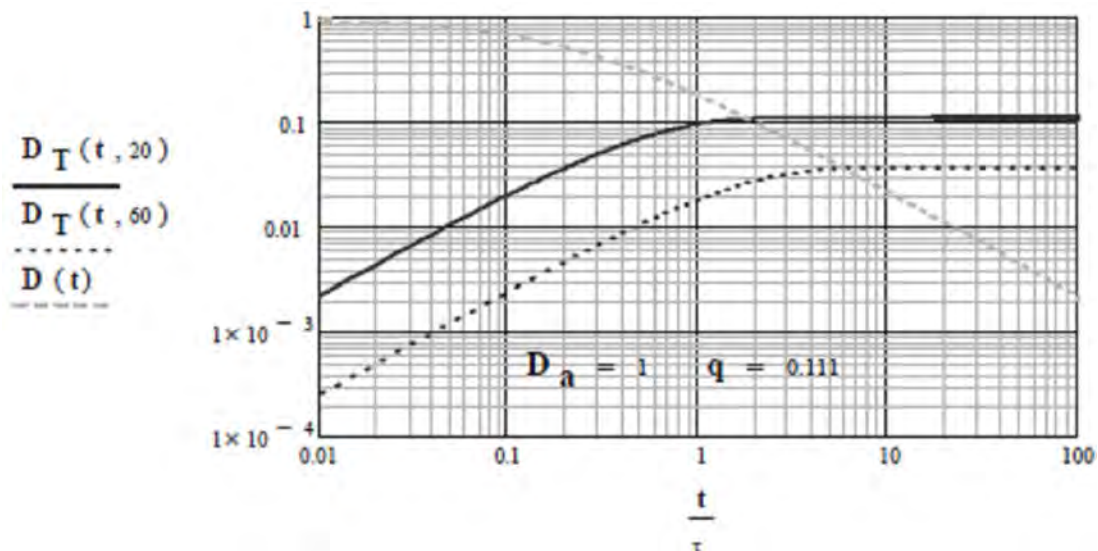


Рис. 5. Сравнение эффективности оптимального измерителя ( $D(t)$ ) и традиционного ( $D_T$ )

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.