

*Б.Б. Поспелов, д.т.н., профессор, вед. научн. сотр., НУГЗУ,  
Р.И. Шевченко, к.т.н., с.н.с., докторант, НУГЗУ,  
В.В. Тютюник, к.т.н., с.н.с., нач. УНИЛ, НУГЗУ,  
А.Н. Коленов, ст. преподаватель, НУГЗУ*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУППЫ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ И КОМБИНИРОВАННОГО ПОРОГОВОГО УСТРОЙСТВА**

(представлено д-ром техн. наук Соболев А.Н.)

В статье рассмотрен новый подход к решению проблемы повышения эффективности систем автоматического обнаружения пожара, отличающийся совместной оптимизацией измерителей и группового комбинированного порогового устройства

**Ключевые слова:** измеритель опасных факторов пожара, автоматическое обнаружение пожара, комбинированное пороговое устройство.

**Постановка проблемы.** Современный этап жизнедеятельности цивилизации характеризуется значительным ростом числа и масштабов пожаров, а также наносимого ими ущерба, что указывает на необходимость постоянного совершенствования методов и средств раннего обнаружения, заблаговременного предупреждения и эффективной ликвидации пожароопасных ситуаций в социальной и техногенной сферах.

Одним из основных направлений в области борьбы с пожарами является разработка эффективных систем автоматической пожарной сигнализации, с широким использованием систем автоматического обнаружения пожара.

Однако, высокий процент количества выездов пожарно-спасательных подразделений в Украине на ложные срабатывания системы автоматической пожарной сигнализации (АПС) относительно общего количества выездов на пожар свидетельствует (см. табл. 1) о невысокой эффективности данных систем.

Данное обстоятельство указывает на актуальность проведения научных исследований направленных на разработку рекомендаций по повышению эффективности систем автоматического обнаружения пожара. При этом эффективность используемых систем существенно зависит от достоверности и точности информации первичных извещателей. Поэтому возникает необходимость использования в первичных извещателях наилучших (оптимальных) в смысле заданных критериев измерителей уровня опасных факторов пожаров. Одной из проблем построения таких измерителей для первичных извещателей является оп-

ределение (синтез) оптимальной их структуры и анализ потенциальных характеристик для заданных условий применения.

**Табл. 1. Динамика соотношения количества выездов пожарно-спасательных подразделений в Украине на ложные срабатывания системы АПС к общему количеству выездов на пожар за период 2002 – 2012 гг.**

Год	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Количество выездов на пожар ( $K_0$ )	56708	57582	53264	50712	49114	58777	57053	54157	61306	59501	71276
Количество выездов на ложные срабатывания системы АПС ( $k_1$ )	1283	1776	2519	2466	2296	2635	3042	2289	2479	2865	3071
$\frac{k_1}{K_0}$	0,023	0,031	0,047	0,049	0,047	0,045	0,053	0,042	0,040	0,048	0,043

**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 заранее структуре измерителей. Синтез оптимальной структуры измерителей уровня опасного фактора пожара при этом не рассматривается. В отличие от структурного неструктурный подход к синтезу позволяет не только отыскивать оптимальную структуру измерителя 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. При этом следует отметить, что для решения рассматриваемой задачи синтеза измерителя существует хорошо разработанный математический аппарат теории оптимальной оценки и фильтрации.

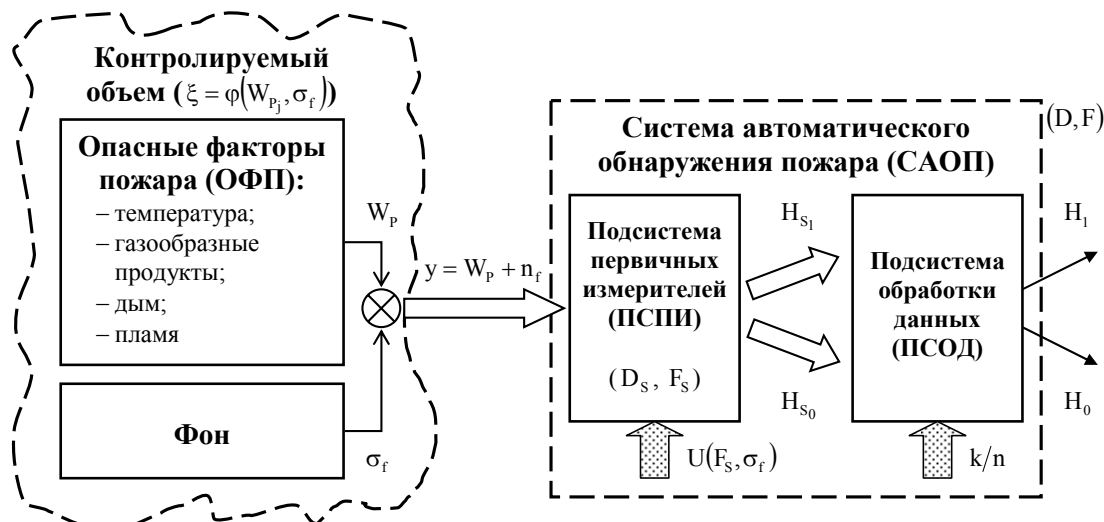
**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является развитие представлений о комплексном использовании в системе автоматического обнаружения пожара группы измерителей опасных факторов пожара и комбинированного порогового устройства с целью повышения эффективности работы автоматической пожарной сигнализации.

Суть данного подхода проиллюстрировано на рис. 1.

Пожарная обстановка в контролируемом системой автоматического обнаружения пожара (САОП) объеме характеризуется наличием опасных факторов пожара ( $W_{P_j}$ ) и фоновых флуктуаций ( $\sigma_f$ ), что может быть представлено в виде функционала

$$\xi = \varphi(W_{P_j}, \sigma_f). \quad (1)$$

Предлагаемая система автоматического обнаружения пожара является двухуровневой аналитической системой и состоит из подсистем первичных измерителей (ПСПИ) и обработки данных (ПСОД).



**Рис. 1. Обобщенная схема функционирования системы автоматического обнаружения пожара с использованием группы измерителей опасных факторов пожаров и комбинированного порогового устройства**

Подсистема ПСПИ объединяет ряд измерителей, которые характеризуется показателями вероятности правильного обнаружения ( $D_S$ ) и вероятности ложной тревоги ( $F_S$ ).

Сигнал поступающий на вход измерителей ПСПИ, определяемый пожароопасной обстановкой контролируемого объема, является аддитивной функцией параметров  $W_{P_j}$  и  $n_f$  – спектральной плотности шума, определяемой полосой пропускания измерителя.

Порог ( $U(F_S, \sigma_f)$ ) обнаружения пожара в контролируемом объеме подсистемой ПСПИ определяется в зависимости от необходимости достижения определенной величины вероятности ложной тревоги  $F_S$  и уровнем шума  $\sigma_f$ .

Выходной сигнал ПСПИ представляет собой вектор значений ( $H_S$ ) полученных от всех измерителей о наличии ( $H_{S_1}$ ) или отсутствия пожара ( $H_{S_0}$ ).

Обработка значений  $H_S$  в подсистеме ПСОД, с учетом второго порога ( $k/n$ , где  $k$  – количество измерителей обнаруживших пожар;  $n$  – общее количество измерителей), позволяет получить окончательный результат о наличии ( $H_1$ ) или отсутствии ( $H_0$ ) пожара в контролируе-

мом объеме.

Показатель эффективности системы автоматического обнаружения пожара (ПЭ САОП) определяется повышением вероятности правильного обнаружения ( $D_S \uparrow$ ) и уменьшением вероятности ложной тревоги ( $F_S \downarrow$ ).

Так, необходимый уровень ПЭ САОП может быть достигнут реализацией одного из двух подходов:

- изменением вероятности ложной тревоги при заданных условиях контролируемого объема  $D_S = \psi_1(F_S) \Big|_{\xi}$ ;
- изменение качества обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги  $D_S = \psi_2(\xi) \Big|_{F_S}$ .

Возможные пути реализации этих подходов применительно к улучшению показателя эффективности, предлагаемой на рис. 1, системе автоматического обнаружения пожара составляют научную новизну работы и проиллюстрированы на рис. 2.

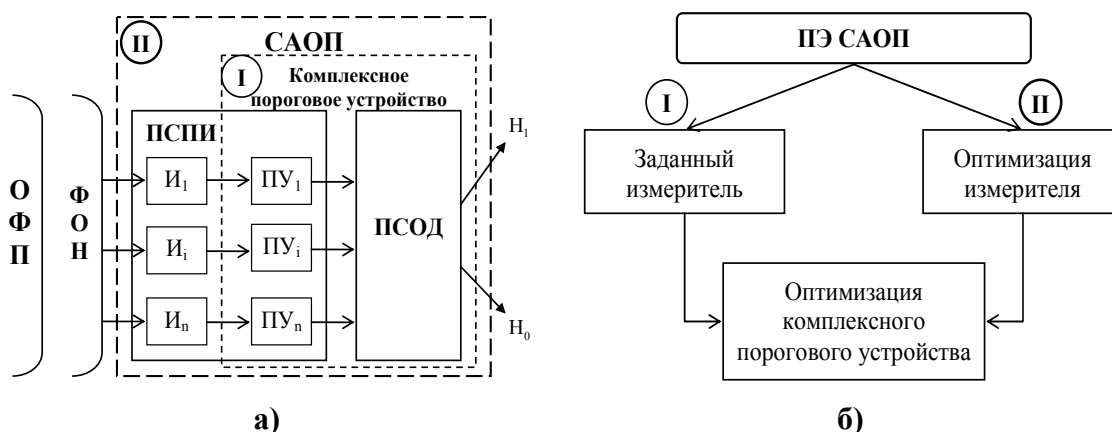
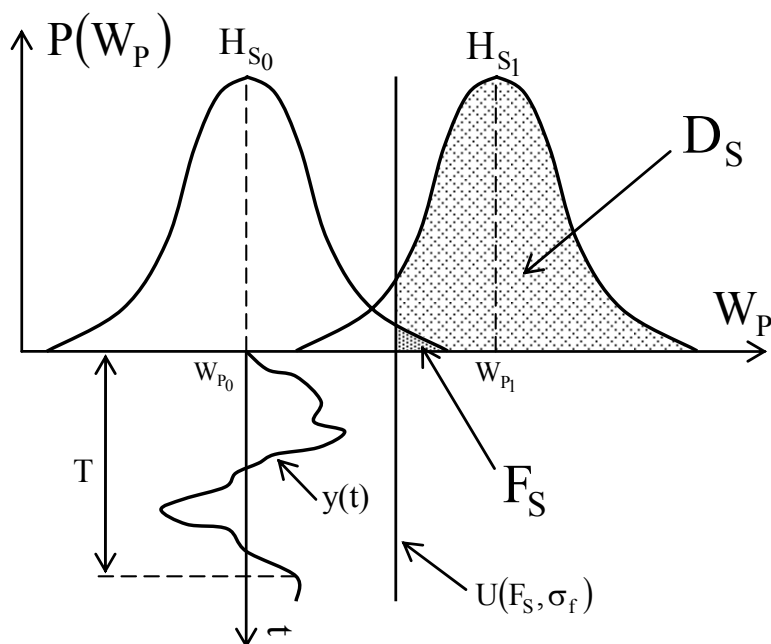


Рис. 2. Структурная схема (а) и алгоритм (б) улучшения показателя эффективности системы автоматического обнаружения пожара

Первое направление (I) обусловлено оптимизацией только комплексного порогового устройства при условии задания измерителя. Данное направление реализуется на изначально заданных промышленных образцах пожарных извещателях путем варьирования параметров аналитической подсистемы.

Второе направление (II) является наиболее универсальным методом оптимизации системы автоматического обнаружения пожара и основывается на варьировании параметров как измерителя, так и аналитической подсистемы.

При рассмотрении второго направления повышения эффективности системы САОП принцип предлагаемого подхода к оптимизации измерителя опасного фактора пожара  $W_P$  проиллюстрировано на рис. 3.



**Рис. 3.** Графическое представление предлагаемого подхода к оптимизации измерителя системы автоматического обнаружения пожара:  $W_P$  – опасный фактор пожара, по которому работает измеритель САОП;  $P(W_P)$  – функция плотности вероятности распределения параметра  $W_P$ ;  $W_{P_0}$  – уровень ОФП при отсутствии пожара;  $W_{P_1}$  – уровень ОФП при наличии пожара;  $y(t)$  – сигнал на входе измерителя;  $D_S$  – вероятности правильного обнаружения;  $F_S$  – вероятности ложной тревоги;  $U(F_S, \sigma_f)$  – порог обнаружения измерителем пожара;  $H_{S_0}$  – сигнал на выходе измерителя при отсутствии пожара;  $H_{S_1}$  – сигнал на выходе измерителя при наличии пожара

Так, эффективность функционирования измерителя системы САОП основано на повышении вероятности правильного обнаружения  $D_S$  пожара на фоне помех  $\sigma_f$ , что определяется установлением соответствующего порога обнаружения  $U(F_S, \sigma_f)$ , как результата взаимного влияния между вероятностями  $D_S$  и ложной тревоги  $F_S$ .

Уравнение наблюдения, описывающее процесс на входе измерителя на интервале  $[0, T]$ , имеет вид

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

где  $n(t)$  – помеха, действующая на входе измерителя, на фоне которой наблюдается параметр  $W_P(t)$ . Данная помеха характеризуется гауссовым процессом с равномерной спектральной плотностью  $N/2$ .

Начальные условия ОФП определяются как

$$\begin{cases} W_P(0) = W_{P_0}; \\ \frac{dW_P(t)}{dt} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Уравнение оптимальной оценки измерителем ОФП, можно представить в виде

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

где  $\hat{W}_P(t)$  – оптимальная оценка уровня опасного фактора пожара  $W_P(t)$ ;  $K(t)$  – переменный во времени коэффициент усиления измерителя, определяемый как

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

где  $D(t)$  – текущая дисперсия погрешности оценки параметра  $\hat{W}_P(t)$ .

Таким образом, алгоритм синтеза оптимального измерителя для системы САОП можно представить в виде

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

В рассматриваемом случае уравнение для текущей дисперсия погрешности оценки имеет вид

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

После несложных преобразований решение уравнения (7) будет описываться 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 уровня опасного фактора пожара для рассматри-

ваемых условий. Структура синтезированного оптимального измерителя приведена на рис. 4, а.

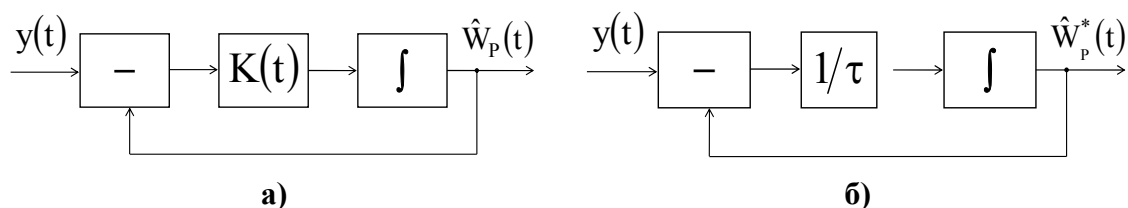


Рис. 4. Структурные схемы первичных извещателей опасных факторов пожара: а) оптимальный извещатель, который предлагается; б) существующий извещатель

Для рассматриваемой ситуации синтезированный оптимальный измеритель должен быть нестационарным и следящим. При этом его нестационарный характер определяется коэффициентом передачи  $K(t)$ , который зависит от времени ( $t$ ), спектральной плотности помехи ( $N$ ) и дисперсии уровня измеряемого опасного фактора ( $D_{W_P}$ ).

В частном случае, когда помеха отсутствует или  $D_{W_P}$  велико,  $K(t) = 1/t$ , т. е. коэффициент передачи обратно пропорционален времени  $t$ . Это означает, что в случае  $t \rightarrow 0$  коэффициент передачи  $K(t) = 0$  и фильтр как бы постепенно отключается от наблюдений, сохраняя на выходе интегратора (рис. 4, а), неизменной оценку  $\hat{W}_P(t)$  измеряемого неизвестного уровня опасного фактора пожара. При этом дисперсия такой оценки, следуя (8), стремится к нулю. Следовательно, с увеличением времени или интервала наблюдения оценка  $\hat{W}_P(t)$  на выходе измерителя может быть сколь угодно близкой к истинному значению неизвестного измеряемого уровня опасного фактора.

Уравнение оценки существующим (промышленным) измерителем (рис. 4, б) ОФП имеет вид

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

где  $\tau$  – постоянная времени измерителя;  $\hat{W}_P^*(t)$  – оценка параметра  $W_P(t)$  существующим измерителем. Значение  $\tau$  измерителя, представленного на рис. 4, б, фиксировано и задается при разработке устройства.

Далее в работе проведено сравнение эффективности между предлагаемым (рис. 4, а) и существующим (рис. 4, б) измерителями опасных факторов пожара.

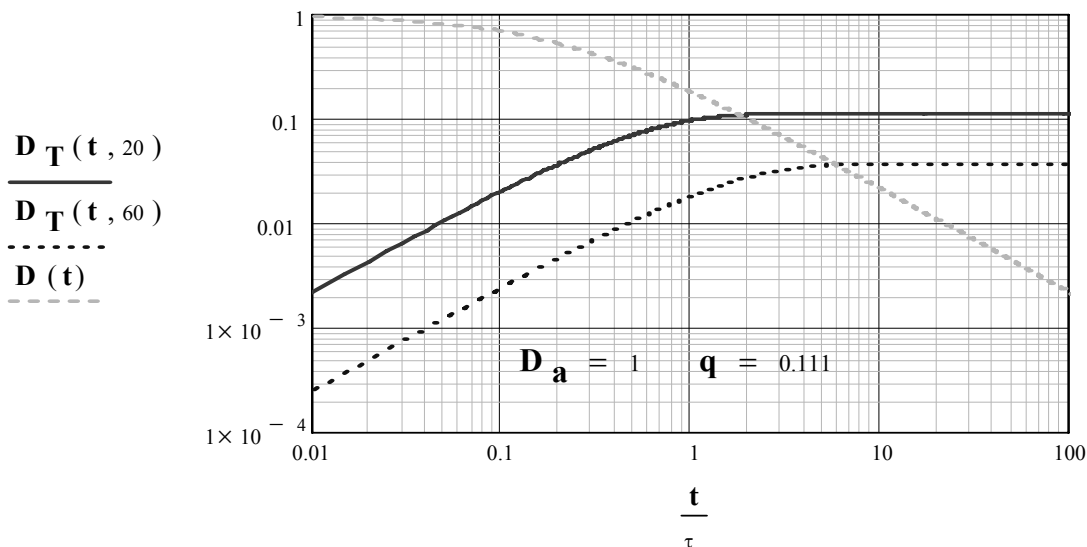


Рис. 5 Сравнение эффективности измерителей предлагаемого  $D(t)$  и существующего  $D_T$

Дальнейшие исследования будут направлены на оценку задача совместной байесовской оптимизации двух порогов и анализ ожидаемого выигрыша, что в свою очередь будет свидетельствовать о возможности существенного увеличения эффективности обнаружения пожара с помощью предлагаемых оптимальных ГПИ

**Выводы.**

1. Предложен новый подход к решению проблемы повышения эффективности систем автоматического обнаружения пожара, отличающийся совместной оптимизацией измерителей ОФП ПИ и группового комбинированного порогового устройства.

2. Установлено, что измерители существующих ПИ совпадают по структуре с оптимальными измерителями, но отличаются фиксированной величиной постоянной времени. Последние обладают недостаточной точностью и быстродействием. Использование оптимальных измерителей ОФП в ПИ позволяет на два порядка быстрее обнаруживать пожар при более высоких показателях вероятности правильного и ложного обнаружения.

3. Установлено, что обеспечение высокой достоверности обнаружения пожара и одновременно низкой вероятности ложной тревоги с использованием одного контролируемого признака пожара, возможно только при существенном превышении энергии ОФП над средней энергией флуктуаций фона.

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



## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Харьков: 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. – Харьков: АГЗУ, 2005. – 121 с.
3. Садковой В.П. Теоретические основы автоматического тушения пожаров класса В распыленной водой / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов. – Харьков: 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 // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2012. – Вип. 16. – С. 85-94.
6. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
7. Ван Трис. Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Том 1. Пер. с англ., под ред. проф. В.И. Тихонова. – М.: Советское радио, 1972. – 744 с.
8. Директор С., Рорер Р. Введение в теорию систем: Пер. с англ. / Под ред. В.Н. Бусленко – М.: Мир, 1974. – 644 с.

Б.Б. Поспелов, Р.И. Шевченко, В.В. Тютюник, А.М. Коленов

### **Підвищення ефективності систем автоматичного визначення пожежі за рахунок використання групи вимірювачів та комбінованого порогового пристрою**

В роботі розглянуто новий підхід до вирішення проблеми підвищення ефективності систем автоматичного визначення пожежі, який відрізняється спільною оптимізацією вимірювачів та групового комбінованого порогового пристрою.

**Ключеві слова:** вимірювач небезпечних факторів пожежі, автоматичне визначення пожежі, комбінований пороговий пристрій.

B.B. Pospelov, R.I. Shevchenko, V.V. Tiutiunyk, A.M. Kolenov

### **Improving the efficiency of automatic fire detection by the use of meters and combined threshold device**

We consider a new approach to the problem of improving the efficiency of automatic fire detection, which is characterized by joint optimization of meters and group combined threshold device.

**Keywords:** meter device for detecting hazards of fire, automatic detection of a fire, the combined threshold device.