

Я.Я. Козак

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

ТЕМПЕРАТУРНА ПОХИБКА ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЧАСОВОГО ПАРАМЕТРА ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА ІЗ ТЕРМОРЕЗИСТИВНИМ ЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ

Для пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом одержано математичний опис реакції на теплову дію імпульсу електричного струму, що протікає через такий чутливий елемент і має форму прямокутного трикутника. Математичний опис побудовано із використанням інтегрального перетворення Лапласа і показано, що він представляє собою суперпозицію двох функцій Хевісайда. Параметри цих функцій визначаються коефіцієнтом передачі і постійною часу терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача та амплітудою і тривалістю імпульсу електричного струму. Показано, що відношення вихідних сигналів терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача в два апіорі заданих моменти часу може бути використано для визначення часового параметра пожежного сповіщувача. Значення апіорі заданих моментів часу, в які визначається температура терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача, обрані за умови простоти технічної реалізації. Якщо має місце зміна температури навколишнього середовища, то це приводить до появи температурної похибки в функції часового параметра пожежного сповіщувача. Для такої похибки одержано математичний опис в загальному випадку, а також для випадку, коли тепловий вплив на терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача здійснюється внаслідок протікання по ньому імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника. Показано, що величина температурної похибки має мінімум при величинах відношення вихідних сигналів терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача в два апіорі заданих моменти часу, що належать діапазону $1,992 \div 1,998$. Величина цієї похибки не перевищує 4,9% при варіаціях температури навколишнього середовища, величина яких не перевищує 2,0%.

Ключові слова: терморезистивний чутливий елемент, пожежний сповіщувач, температурна похибка.

Постановка проблеми

Використання автоматичних систем виявлення небезпечних чинників пожежі на його початковій стадії забезпечує зниження збитків від пожежі. Ефективність таких систем залежить від досконалості технічних характеристик їх датчиків первинної інформації – пожежних сповіщувачів. Серед пожежних сповіщувачів найбільш поширеним класом є теплові пожежні сповіщувачів. Технічні характеристики пожежних сповіщувачів визначаються при їх випробуваннях, які діляться на стаціонарні та об'єктові [1]. Недоліком об'єктових випробувань пожежних сповіщувачів є те, що при їх реалізації не визначаються оцінки технічних характеристик пожежних сповіщувачів. Технічний стан пожежних сповіщувачів визначається за критерієм «спрацював – не спрацював». Такий підхід до об'єктових випробувань пожежних сповіщувачів стримує можливості по підвищенню ефективності їх системи експлуатації. Визначення оцінок технічних характеристик пожежних сповіщувачів – один із шляхів по підвищенню

ефективності системи експлуатації пожежних шляхів. У зв'язку із цим однією із проблем при експлуатації теплових пожежних сповіщувачів є обґрунтування методів та засобів їх випробувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Серед фізичних принципів, що використовуються для побудови теплових пожежних сповіщувачів, терморезистивний ефект займає одну із провідних позицій [2]. Це обумовлено простотою реалізації та високою чутливістю таких сповіщувачів. В роботі [3] звертається увага на необхідність визначення оцінок основних характеристик пожежних сповіщувачів при їх випробуваннях. В цій же роботі, а також в [4] наводяться приклади випробувань пожежних сповіщувачів, за результатами яких одержані оцінки їх часу спрацювання. В роботі [5] наведені результати одержання оцінок часу спрацювання та індексу часу спрацювання теплових пожежних сповіщувачів максимального типу. Всі ці випробування об'єднує те, що при їх реалізації визначається лише одна із часових параметрів – час спрацювання і не визначається такий часовий

параметр, як постійна часу пожежного сповісчувача. Аналіз методів та засобів випробувань теплових пожежних сповісчувачів, наведений в [6], свідчить, що згідно до стандартів APSAD R7 (Франція) та BS 5839 1:2002 Clause 45.4 (Великобританія) не передбачається визначення такого параметра пожежних сповісчувачів, як їх постійна часу. В роботі [7] відмічається, що можлива реалізація випробувань теплових пожежних сповісчувачів із одержанням оцінок їх часових параметрів при використанні, зокрема, їх фізичних властивостей. Це стосується використання таких ефектів, як ефект Кюрі [8] або ефект Джоуля-Ленца [9]. В роботах [10 ÷ 12] наведені приклади стосовно використання ефекту Джоуля-Ленца при визначенні оцінок постійної часу пожежних сповісчувачів із терморезистивним чутливим елементом. Але поза досліджень залишився ряд питань, зокрема це стосується оцінки впливу зміни температури навколишнього середовища на результат випробувань пожежних сповісчувачів із таким чутливим елементом. У зв'язку із цим доцільним є проведення досліджень по визначенню впливу температури навколишнього середовища на результат випробувань пожежних сповісчувачів із терморезистивним чутливим елементом, метою яких є одержання оцінки їх часового параметра.

Виклад основного матеріалу

Визначення температурної похибки пожежних сповісчувачів із терморезистивним чутливим елементом

При визначенні часового параметра пожежних сповісчувачів із терморезистивним чутливим елементом в якості інформаційного параметра використовується відношення значень його температур $\theta(t_1)$ та $\theta(t_2)$ відповідно в моменти часу t_1 та t_2

$$\alpha = \theta(t_1) [\theta(t_2)]^{-1}. \quad (1)$$

Якщо в якості тест-впливу на терморезистивний чутливий елемент пожежних сповісчувачів використовується імпульс електричного струму, форма якого описується виразом

$$i(t) = I(1 - tt_0^{-1}) [1(t) - 1(t - t_0)], \quad (2)$$

де I, t_0 – амплітуда та тривалість імпульсу; $1(\bullet)$ – функція Хевісайда, то для функції $\theta(t)$ має місце

$$\theta(t) = L^{-1} [W(p) L [i^2(t)]] \quad (3)$$

де L, L^{-1} – оператор інтегрального перетворення Лапласа та оператор зворотного перетворення Лапласа відповідно; $W(p)$ – передаточна функція терморезистивного чутливого елемента пожежного сповісчувача; p – комплексна змінна.

Передаточна функція $W(p)$ описується виразом

$$W(p) = K\tau(\tau p + 1)^{-1}, \quad (4)$$

де K – коефіцієнт передачі; τ – часовий параметр.

Із (2) витікає, що [13]

$$L [i^2(t)] = (It_0^{-1})^2 p^{-3} \times \left[(p^2 t_0^2 - 2pt_0 + 2) [1 - \exp(-pt_0)] \right] \quad (5)$$

Після об'єднання виразів [3 ÷ 5] буде мати місце [13]

$$\theta(t) = K\tau (It_0^{-1})^2 \times \left[\begin{array}{l} \left[(t_0^2 + 2t_0\tau + 2\tau^2) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] + \right] 1(t) - \\ + t^2 - 2t\tau - 2t_0t \\ \left[(t - t_0)^2 - 2\tau(t - t_0) + 2\tau^2 \right] \\ - \left[1 - \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau}\right) \right] \end{array} \right] 1(t - t_0) \quad (6)$$

При виконанні умов

$$t \geq 3\tau, t_1 = 0,5t_0, t_2 = 0,75t_0, \quad (7)$$

об'єднання (1) та (6) приводить до виразу

$$\tau t_0^{-1} = \left[8(\alpha - 1)^{-1} \left[2 - \alpha + (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5} \right] \right], \quad (8)$$

який використовується для визначення часового параметра τ .

Якщо в моменти часу t_1 та t_2 внаслідок зміни температури навколишнього середовища мають місце відповідно похибки Δ_1 та Δ_2 , то при визначенні відношення (1) буде мати місце

$$\alpha_1 = [\theta(t_1) + \Delta_1][\theta(t_2) + \Delta_2] = \theta(t_1)[\theta(t_2)]^{-1} \times [1 + \Delta_1[\theta(t_1)]^{-1}][1 + \Delta_2[\theta(t_2)]^{-1}]^{-1} = \alpha[1 + \beta_1][1 + \beta_2]^{-1}, \quad (9)$$

де $\beta_1 = \Delta_1[\theta(t_1)]^{-1}$; $\beta_2 = \Delta_2[\theta(t_2)]^{-1}$.

Внаслідок того, що

$$\beta_1 \ll 1, \beta_2 \ll 1, \quad (10)$$

то вираз (6) можна переписати наступним чином

$$\alpha_1 = \alpha(1 - \beta), \quad (11)$$

де $\beta = \beta_2 - \beta_1$.

Наявність похибки при визначенні інформаційного параметра α , величина якої складає $\alpha\beta$, обумовлює появу похибки при визначенні часового параметра τ пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом. Ця похибка визначається виразом

$$\delta = [f(\alpha, \beta) - f(\alpha)][f(\alpha)]^{-1}, \quad (12)$$

де $f(\alpha, \beta), f(\alpha)$ – функція, яка визначає зв'язок між часовим параметром τ та параметрами α і β , та функція, яка визначає зв'язок між τ та α відповідно.

Функція $f(\alpha)$ описується виразом (8), а функція $f(\alpha, \beta)$ має вигляд

$$f(\alpha, \beta) = [8[(1 - \beta) - 1]]^{-1} [2 - \alpha(1 - \beta) + [6\alpha(1 - \beta) - \alpha^2(1 - \beta)^2 - 4]^{0,5}]. \quad (13)$$

Після об'єднання виразів (8), (12) та (13) похибка δ буде мати наступний опис

$$\delta = \left[[1 + \alpha\beta(\alpha - 1)^{-1}][6\alpha(1 - \beta) - \alpha^2(1 - \beta)^2 - 4]^{0,5} - (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5} + \alpha\beta(1 + \alpha\beta)(\alpha - 1)^{-1} \right] \times [2 - \alpha + (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5}]^{-1}. \quad (14)$$

На рис. 1 наведено графічну інтерпретацію залежності (11), аналіз якої свідчить, що при

$\beta = \text{const}$ має місце екстремум функції $\delta = \delta(\alpha, \beta)$. Величини параметрів α , яким відповідають екстремуми функції $\delta = \delta(\alpha, \beta)$, визначаються коренями алгебраїчного рівняння

$$\frac{\partial \delta(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = 0. \quad (15)$$

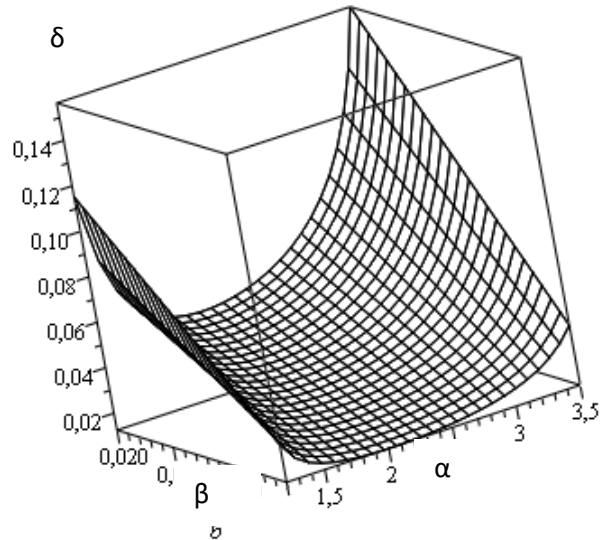


Рис. 1. Залежність $\delta = \delta(\alpha, \beta)$

На рис. 2 наведена графічна інтерпретація рішення алгебраїчного рівняння (15).

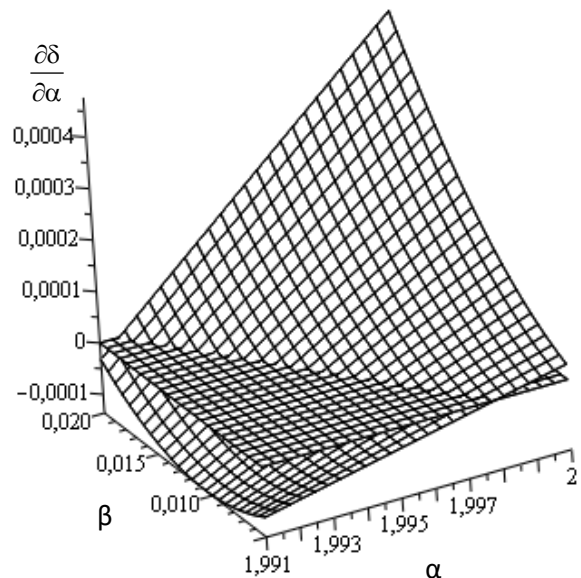


Рис. 2. Графічна інтерпретація рішення алгебраїчного рівняння (15)

Аналіз цих залежностей свідчить, що при $\beta = (0,5 \div 2,0)\%$ екстремум похибки досягається

при $\alpha = 1,992 \div 1,998$, а величина цієї похибки не перевищує 4,9%.

Слід зазначити, що цей результат не протирічить вимогам євростандарту EN-54. [14].

Висновки

Показано, що теплова дія електричного струму у вигляді імпульсу трикутної форми обумовлює зміну температури терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів, яка описується суперпозицією функцій Хевісайда, параметри яких визначаються коефіцієнтом передачі і постійною часу такого чутливого елемента та амплітудою і тривалістю імпульсу електричного струму.

Одержано вираз, за допомогою якого визначається при проведенні випробувань часовий параметр пожежних сповіщувачів. Особливістю цього виразу є те, що він є індиферентним відносно коефіцієнта передачі пожежного сповіщувача та амплітуди імпульсу електричного струму.

Одержано вираз для похибки визначення часового параметра пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, яка обумовлена зміною температури навколишнього середовища. Показано, що при зміні температури навколишнього середовища на $(0,5 \div 2,0)\%$ має місце мінімум такої похибки, величина якої не перевищує 4,9%.

Література

1. Гвоздь М.В. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний: дис. ... канд. техн. наук. – Черкассы, 2005. – 181 с.
2. Dinh T. (2017) *Thermoresistive Effect for Advanced Thermal Sensors: Fundamentals, Design Considerations, and Applications* / Dinh T., Phan H., Qamar A., Woodfield P., Nguyen N., Dao D.V. // *Journal of Microelectromechanical Systems*. – 2017. – 26(5). – PP. 966–986. DOI: <https://doi.org/10.1109/JMEMS.2017.2710354>.
3. Jang H.-Y. *Test Method Using Shield-cup for Evaluating Response Characteristics of Fire Detectors* / Jang H.-Y., Hwang C.-H. // *Fire Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 34(4). – Pp. 36–44. DOI: <https://doi.org/10.7731/kifse.8696ecf9>
4. Hong S.H. *A Study on the Classification of Domestic Fire Detector using Response Time Index* / Hong S.H., Kim D.S., Choi K.O. // *Journal of the Korean Society of Safety*. – 2017. – Vol. 32(2). – Pp. 46–51. DOI: <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2017.32.2.46>
5. Yoon G.-Y. *DB Construction of Activation Temperature and Response Time Index for Domestic Fixed-temperature Heat Detectors in Ceiling Jet Flow* / Yoon G.-Y., Han H.-S., Mun S.-Y., Park C.-H., Hwang C.-H. // *Fire Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 34(3). – P. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.7731/kifse.103eea8f>

6. Абрамов Ю.О. *Теплові пожежні сповіщувачі та їх випробування* / Абрамов Ю.О., Кальченко Я.Ю. – НУЦЗУ, 2016. – 120 с.
7. Арутюнян Д.М. *Новые технологии гарантированного предотвращения пожаров*. – Москва, 2014. – 232 с.
8. Абрамов Ю.А. *Управление в технических системах с газовым и жидким компонентом* / Абрамов Ю.А., Губарев А.П., Узунов А.В. и др. – Киев, 1997. – 285 с.
9. Садковой В.П. *Оценка быстродействия датчиков первичной информации систем автоматического пожаротушения со сферическим терморезистивным чувствительным элементом* / Садковой В.П., Абрамов Ю.А. // *Проблемы надзвичайних ситуацій*. – 2006. – Вип. 3. – С. 128-137.
10. Абрамов Ю.А. *Повышение эффективности обнаружения пожара по температуре* / Абрамов Ю.А., Гвоздь В.М., Тищенко Е.А. – Харьков, 2011. – 129 с.
11. Абрамов Ю.А. *Определение временных характеристик тепловых пожарных извещателей при автономных испытаниях* / Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. – Харьков, 2011. – 110 с.
12. Кальченко Я.Ю. *Идентификация динамического параметра пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом* / Кальченко Я.Ю., Абрамов Ю.А. // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2015. – Вып. 37. – С. 71–74.
13. Голоскопов Д.П. *Уравнение математической физики*. – Санкт-Петербург, 2004. – 539 с.
14. ДСТУ EN 54-5:2003. *Видання. Системи пожежної сигналізації. Частина 5. Сповіщувачі пожежні теплові точкові. (EN 54-5:2000, ІДІ)*. – Київ, 2004. – 162 с.

References

1. Gvozd, M.V. (2005). *Thermoresistive thermal fire detectors with improved characteristics and methods of their temperature tests*. PhD Thesis. Cherkasy. [in Russian]
2. Dinh, T., Phan, H., Qamar, A., Woodfield, P., Nguyen, N., & Dao, D.V. (2017). Thermoresistive Effect for Advanced Thermal Sensors: Fundamentals, Design Considerations, and Applications. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 26(5), 966–986. DOI: <https://doi.org/10.1109/JMEMS.2017.2710354>
3. Jang, H.-Y., Hwang, C.-H. (2020). Test Method Using Shield-cup for Evaluating Response Characteristics of Fire Detectors. *Fire Science and Engineering*, 34(4), 36–44. DOI: <https://doi.org/10.7731/kifse.8696ecf9>
4. Hong, S.H., Kim, D.S., Choi, K.O. (2017). A Study on the Classification of Domestic Fire Detector using Response Time Index. *Journal of the Korean Society of Safety*, 32(2), 46–51. DOI: <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2017.32.2.46>
5. Yoon, G.-Y., Han, H.-S., Mun, S.-Y., Park, C.-H., & Hwang, C.-H. (2020). DB Construction of Activation Temperature and Response Time Index for Domestic Fixed-temperature Heat Detectors in Ceiling Jet Flow. *Fire Science and Engineering*, 34(3), 35–42. DOI: <https://doi.org/10.7731/kifse.103eea8f>
6. Abramov, Yu.O., Kalchenko, Ya.Yu. (2016). *Thermal fire detectors and their tests*. NUTSZU. [in Ukrainian]
7. Arutyunyan, D.M. (2014). *New technologies of guaranteed fire prevention*. Moscow. [in Russian]

8. Abramov, Yu.A., Gubarev, A.P., Uzunov, A.V. etc. (1997). *Management in technical systems with gas and liquid component*. Kiev. [in Russian]
9. Sadkova, V.P., Abramov, Yu.A. (2006). Estimation of speed of sensors of primary information of systems of automatic fire extinguishing with spherical thermoresistive sensitive element. *Problems of emergency situations*, 3, 128–137. [in Russian]
10. Abramov, Yu.A., Gvozdz, V.M., Tishchenko, E.A. (2011). *Improving the efficiency of fire detection by temperature*. Kharkiv. [in Russian]
11. Abramov, Yu.A., Basmanov, A.E. (2011). *Determination of time characteristics of thermal fire detectors during autonomous tests*. Kharkov. [in Russian]
12. Kalchenko, Ya.Yu., Abramov, Yu.A. (2015). Identification of the dynamic parameter of fire detectors with a thermoresistive sensitive element. *Problems of fire safety*, 37, 71–74. [in Russian]
13. Goloskopov, D.P. (2004). *Equation of mathematical physics*. St. Petersburg. [in Russian]
14. DSTU EN 54-5: 2003. (2004). Edition. Fire alarm systems. Part 5. Detectors fire thermal point. (EN 54-5: 2000, IDI). Kyiv. [in Ukrainian]

Рецензент: доктор технічних наук, професор, г. н. с. наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру О.С. Басманов, Національний університет цивільного захисту України, Україна.

Автор: КОЗАК Ярослав Ярославович
ад'юнкт ад'юнктури
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
E-mail – yaruk.38@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1283-2536>

TEMPERATURE ERROR WHEN DETERMINING THE TIME PARAMETER OF A FIRE DETECTOR WITH A THERMORESISTIVE SENSITIVE ELEMENT

Ya. Kozak

Lviv State University of Life Safety, Ukraine

For fire detectors with a thermoresistive sensing element, a mathematical description of the reaction to the thermal action of an electric current pulse flowing through such a sensing element and having the shape of a right triangle is obtained. The mathematical description is constructed using the Laplace integral transformation and is shown to be a superposition of two Heaviside functions. The parameters of these functions are determined by the transmission coefficient and time constant of the thermoresistive sensitive element of the fire detector and the amplitude and duration of the electric current pulse. It is shown that the ratio of the output signals of the thermoresistive sensitive element of the fire detector at two a priori given moments of time can be used to determine the time parameter of the fire detector. The values of a priori set moments of time, in which the temperature of the thermoresistive sensitive element of the fire detector is determined, are selected under the condition of simplicity of technical implementation. If there is a change in ambient temperature, it leads to a temperature error as a function of the time parameter of the fire detector. For such an error, a mathematical description is obtained in the general case, as well as for the case when the thermal influence on the thermoresistive sensitive element of the fire detector is due to the flow of an electric current pulse in the form of a right triangle. It is shown that the value of the temperature error has a minimum at the values of the ratio of the output signals of the thermoresistive sensitive element of the fire detector at two a priori time points belonging to the range $1,992 \div 1,998$. The value of this error does not exceed 4.9% with variations in ambient temperature, the value of which does not exceed 2.0%.

Keywords: *thermoresistive sensitive element, fire detector, temperature error.*