

Я.Я. Козак

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

## ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОГО ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА

Для теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом обґрунтований метод визначення його часових параметрів. В якості часових параметрів розглядаються час спрацювання і постійна часу теплового пожежного сповіщувача. В основі методу лежить використання ефекту Джоуля-Ленца, для реалізації якого через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача пропускаються одиночні імпульси електричного струму. В якості таких тест-сигналів використовуються імпульси, які мають форму чверті синусоїди або чверті косинусоїди. Із використанням інтегрального перетворення Лапласа одержані аналітичні вирази, які представляють собою формалізацію реакції терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на відповідні тест-сигнали. Ці аналітичні вирази використовуються для одержання функціональних залежностей постійних часу пожежного сповіщувача від тривалості імпульсів електричного струму та допоміжного параметра. Допоміжний параметр представляє собою відношення значень вихідного сигналу теплового пожежного сповіщувача у два фіксованих моменти часу. Фіксовані моменти часу вибрані такими, що дорівнюють половині та трьом чвертям тривалості імпульсів електричного струму, що протікають через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача. Час спрацювання теплового пожежного сповіщувача визначається у вигляді двох адитивних складових, одна із яких є постійною часу пожежного сповіщувача, а друга визначається величинами нормованих параметрів згідно із існуючими нормативними документами. Надана послідовність процедур, які у сукупності представляють метод визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів такого типу.

**Ключові слова:** пожежний сповіщувач, терморезистивний чутливий елемент, час спрацювання, постійна часу.

### Постановка проблеми

Одним із радикальних шляхів, які забезпечують зниження збитків від пожежі, є ідентифікація небезпечних факторів пожежі в її початковій фазі, що найбільш ефективно може бути здійснено за допомогою автоматичних систем. Ефективність таких систем у першу чергу визначається ступенем досконалості технічних характеристик датчиків первинної інформації – пожежних сповіщувачів, а також ефективністю їх системи експлуатації. Одним із поширених класів пожежних сповіщувачів є теплові пожежні сповіщувачі. Система експлуатації таких сповіщувачів передбачає стаціонарні (автономні) або оперативні (об'єктові) випробування [1]. Метою таких випробувань є, зокрема, визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів. Всі існуючі стандарти різних країн орієнтовані на визначення лише одного часового параметра – часу спрацювання пожежного сповіщувача, а такий параметр, як постійна часу теплового пожежного сповіщувача не визначається. У зв'язку з цим однією із проблем при експлуатації теплових

пожежних сповіщувачів є підвищення рівня ефективності систем їх експлуатації.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Стаціонарні випробування теплових пожежних сповіщувачів здійснюються за допомогою теплових каналів та у спеціальних приміщеннях із використанням тестових осередків пожеж [2, 3]. Основним недоліком таких випробувань пожежних сповіщувачів є те, що вони не розповсюджуються на сповіщувачі, які розміщені на охороняємих об'єктах. Об'єктові випробування регламентуються стандартами ARSAD R7 (Франція), BS 5839 1:2002 (Великобританія). В Україні відсутні нормативні документи, що регламентують проведення таких випробувань. Слід зазначити, що при проведенні об'єктових випробувань теплових пожежних сповіщувачів у більшості випадків реалізується допусковий метод контролю. Всі існуючі нормативні документи стосовно випробувань теплових пожежних сповіщувачів не передбачають визначення їх постійних часу, але величина цього часового параметра нормується, наприклад, в ДСТУ EN S4-5:2003 [4]. Час

спрацювання та постійна часу теплових пожежних сповіщувачів пов'язані функціонально залежністю [5], але ця залежність не використовується при побудові алгоритмів випробувань пожежних сповіщувачів. В [6] звертається увага на те, що підвищення ефективності системи експлуатації теплових пожежних сповіщувачів може бути забезпечено шляхом використання їх фізичних властивостей при реалізації алгоритмів їх випробувань. Прикладами такого підходу є використання ефектів Кюрі [7] та Джоуля-Ленца [8] для побудови алгоритмів випробувань теплових пожежних сповіщувачів. Використання другого ефекту відкриває нові можливості при визначенні технічних характеристик пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом при їх випробуваннях. Зокрема, в роботах [9–11] наведені результати досліджень стосовно визначення одного із часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом – постійної часу.

Але з цих робіт не витікають рекомендації стосовно доцільності щодо використання конкретного методу для визначення часових параметрів сповіщувачів такого типу. Деякі методи потребують більш досконалого обґрунтування. Це стосується, зокрема, імпульсного методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом. У зв'язку з цим представляє інтерес щодо проведення досліджень для пожежних сповіщувачів такого типу при визначенні тест-сигналів іншої відносно існуючих результатів форми.

### Виклад основного матеріалу

Імпульсний метод визначення часових параметрів теплового пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом передбачає використання ефекту Джоуля-Ленца для визначення постійної часу та часу спрацювання пожежного сповіщувача. В якості тест-сигналів використовуються імпульси електричного струму, які описуються виразами

$$i_1(t) = I \sin \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)] \quad (1)$$

$$i_2(t) = I \cos \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)] \quad (2)$$

де  $I$ ,  $t_0$  – амплітуда та тривалість імпульсу електричного струму відповідно;  $1(t)$ ,  $1(t - t_0)$  – функції Хевісайда.

Реакція пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом на тест-сигнали (1) та (2) буде мати вигляд

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

де  $L^{-1}$  – оператор зворотнього перетворення Лапласа;  $W(p)$  – передаточна функція пожежного сповіщувача;  $i_i^2(p)$  – перетворення по Лапласу від квадрату  $i$ -го тест сигналу.

Для передаточної функції  $W(p)$  має місце [10,11]

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

де  $K$ ,  $\tau$  – коефіцієнт передачі та постійна часу пожежного сповіщувача відповідно.

Для  $i_1^2(p)$  можна записати

$$\begin{aligned} i_1^2(t) &= I^2 \sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)] = \\ &= I^2 \left[ \sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} 1(t) - \cos^2 \frac{\pi(t - t_0)}{2t_0} 1(t - t_0) \right] = \\ &= 0,5I^2 \left[ (1 - \cos \frac{\pi t}{t_0}) 1(t) - (1 + \cos \frac{\pi(t - t_0)}{t_0}) 1(t - t_0) \right], \end{aligned} \quad (5)$$

внаслідок чого буде мати місце [12]

$$\begin{aligned} i_1^2(p) &= L[i_1^2(t)] = 0,5I^2 \left[ \left( \frac{\pi}{t_0} \right)^2 - \left[ 2p^2 + \left( \frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] \exp(-pt_0) \right] \times \\ &\times \left[ p \left[ p^2 + \left( \frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] \right]^{-1}, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $L$  – оператор інтегрального перетворення Лапласа.

Розподіл температури  $\theta_1(t)$  в терморезистивному чутливому елементі визначається згідно (3) при  $i=1$ , вираз для якого можна записати наступним чином

$$\theta_1(t) = 0,5KI^2\tau L^{-1} [F_1(p) [F_2(p) - F_3(p)]], \quad (7)$$

де

$$F_1(p) = (\tau p + 1)^{-1};$$

$$F_2(p) = \left( \frac{\pi}{t_0} \right)^2 \left[ p \left[ p^2 + \left( \frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] \right]^{-1}; \quad (8)$$

$$F_3(p) = \left[ 2p^2 + \left( \frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] \left[ p \left[ p^2 + \left( \frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] \right]^{-1} \exp(-pt_0).$$

Якщо врахувати, що має місце

$$\begin{aligned} f_1(t) &= L^{-1}[F_1(p)] = \tau^{-1} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right); \\ f_2(t) &= L^{-1}[F_2(p)] = 1 - \cos\frac{\pi t}{t_0}; \\ f_3(t) &= L^{-1}[F_3(p)] = 1 + \cos\frac{\pi(t-t_0)}{t_0}, \end{aligned} \quad (9)$$

то згідно із теоремою Бореля [13] реакція пожежного сповіщувача на тест-сигнал (1) буде описуватись виразом

$$\theta_1(t) = 0,5KI^2\tau \left[ \begin{aligned} &\int_0^t f_1(t-\varepsilon)f_2(\varepsilon)d\varepsilon \cdot I(t) - \\ &-\int_{t_0}^t f_1(t-\varepsilon)f_3(\varepsilon)d\varepsilon \cdot I(t-t_0) \end{aligned} \right] \quad (10)$$

Після підстановки (9) в (10) цей вираз трансформується наступним чином

$$\begin{aligned} \theta_1(t) &= 0,5KI^2\tau \left[ 1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \times \right. \\ &\times \left. \left[ (\pi\tau)^2 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + t_0^2 \cos\frac{\pi t}{t_0} + \pi t_0\tau \sin\frac{\pi t}{t_0} \right] I(t) - \right. \\ &- \left. \left[ 1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \times \right. \right. \\ &\times \left. \left. \left[ (\pi\tau)^2 + 2t_0^2 \right] \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) - t_0^2 \cos\frac{\pi(t-t_0)}{t_0} - \right. \right. \\ &\left. \left. - \pi t_0\tau \sin\frac{\pi(t-t_0)}{t_0} \right] I(t-t_0) \right] \quad (11) \end{aligned}$$

По аналогії із процедурою одержання виразу (11) для реакції пожежного сповіщувача на тест-сигнал (2) можна записати

$$\begin{aligned} \theta_2(t) &= 0,5KI^2\tau \left[ \left[ 1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \right] [2t_0^2 + (\pi\tau)^2] \times \right. \\ &\times \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - t_0^2 \cos\frac{\pi t}{t_0} - \pi t_0\tau \sin\frac{\pi t}{t_0} \left. \right] I(t) - \left[ 1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \right] \times \\ &\times \left[ (\pi\tau)^2 \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) + t_0^2 \cos\frac{\pi(t-t_0)}{t_0} + \pi t_0\tau \sin\frac{\pi(t-t_0)}{t_0} \right] \times \\ &\times I(t-t_0) \quad (12) \end{aligned}$$

Графічна інтерпретація залежностей (11) та (12) при  $t_0 = 4,0$  с,  $\tau = 0,5$  с наведена відповідно на рис. 1 та рис. 2.

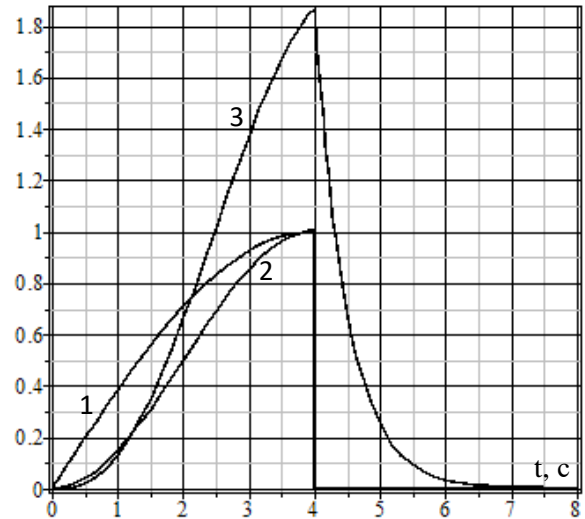


Рис. 1. Залежності: 1 –  $i_1(t)I^{-1}$ ; 2 –  $[i_1(t)I^{-1}]^2$ ; 3 –  $2\theta_1(t)(KI^2)^{-1}$ .

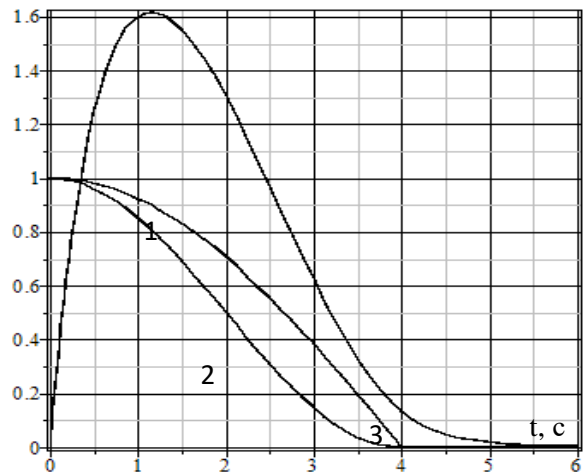


Рис.2. Залежності: 1 –  $i_2(t)I^{-1}$ ; 2 –  $[i_2(t)I^{-1}]^2$ ; 3 –  $2\theta_2(t)(KI^2)^{-1}$ .

Якщо має місце

$$\frac{d\theta_1(t)}{dt} > 0, t \geq 3\tau,$$

то для моментів часу  $t_1$  та  $t_2$ , де  $t_1 < t_2$ , можна записати відношення

$$\begin{aligned} \theta_1(t_1)[\theta_1(t_2)]^{-1} &= \left[ t_0^2 + (\pi\tau)^2 - t_0^2 \cos\frac{\pi t_1}{t_0} - \pi t_0\tau \sin\frac{\pi t_1}{t_0} \right] \times \\ &\times \left[ t_0^2 + (\pi\tau)^2 - t_0^2 \cos\frac{\pi t_2}{t_0} - \pi t_0\tau \sin\frac{\pi t_2}{t_0} \right]^{-1} = \alpha, \end{aligned} \quad (13)$$

з якого при  $t_1 = 0,5t_0$  та  $t_1 = 0,75t_0$  витікає вираз для визначення постійної часу пожежного сповіщувача

$$\tau_0^{-1} = [2\pi(1-\alpha)]^{-1} \left[ 1 - 0,7\alpha - (9,4\alpha \cdot 6,3\alpha^2 - 3)^{0,5} \right] \quad (14)$$

Для моментів часу

$$3\tau < t < t_0,$$

на яких

$$\frac{d\theta_2(t)}{dt} < 0,$$

та при  $t_1 = 0,5t_0$  і  $t_1 = 0,75t_0$  постійна часу із використанням (12) та по аналогії із (13) буде визначатись виразом [14]

$$\tau_0^{-1} = [2\pi(\alpha - 1)]^{-1} \left[ 1 - 0,7\alpha + (3,8\alpha \cdot 0,7\alpha^2 - 3)^{0,5} \right] \quad (15)$$

Час спрацьовування теплового пожежного сповіщувача визначається за формулою

$$t_c = (T_c - T_0)b^{-1} + \tau, \quad (16)$$

де  $T_c, T_0$  – температура спрацьовування та початкова температура відповідно;  $b$  – швидкість зміни температури. Дані стосовно  $T_c, T_0$  наведені в ДСТУ FN 54-5:2009.

Метод визначення часових параметрів  $\tau$  та  $t_c$  пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом зводиться до:

- пропускання через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача імпульсу електричного струму, форма якого описується виразом (1) або (2);

- вимірювання реакції пожежного сповіщувача на тест-сигнал (1) або (2) в моменти часу  $t_1 = 0,5t_0$  і  $t_1 = 0,75t_0$ ;

- визначення відношення реакцій пожежного сповіщувача в ці моменти часу – визначення параметра  $\alpha$ ;

- визначення часових параметрів  $\tau$  та  $t_c$  згідно (14) – (16).

Вибір форми тест-сигналу (1) або (2) здійснюється із врахуванням необхідної точності визначення часових параметрів пожежного сповіщувача.

## Висновки

Стосовно до пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом обґрунтований

імпульсний метод визначення їх часових параметрів. В основі методу лежить застосування ефекту Джоуля-Ленца при використанні в якості тест-сигналів, які мають форму імпульсів електричного струму у вигляді чверті синусоїди або чверті косинусоїди.

Із використанням інтегрального перетворення Лапласа одержані вирази для реакції пожежного сповіщувача такого типу на тест-сигнали двох видів.

Показано, що метод визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом зводиться до вимірювання значень вихідного сигналу пожежних сповіщувачів в фіксовані моменти часу і використання результатів цих вимірювань для формування проміжного параметра.

Фіксовані моменти часу визначаються такими, що дорівнюють половині та трьом чвертям тривалості імпульсів електричного струму. Проміжний параметр, який формується за результатами вимірювань вихідного сигналу пожежного сповіщувача, використовується при побудові функціональних залежностей для одержання часових параметрів пожежних сповіщувачів.

## 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. Шаровар Ф.И. Пожаропредупредительная автоматика (теория и практика предотвращения пожаров маломощных загораний). Москва, 2013. 556 с.
3. ГОСТ Р 53325-2012. Издание. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний. Москва, 2012. 270 с.
4. ДСТУ EN 54-5:2003. Видання. Системи пожежної сигналізації. Частина 5. Сповіщувачі пожежні теплові точкові. (EN 54-5:2000, ІДІ). Київ, 2004. 162 с.
5. Абрамов Ю.А., Куринный Е.В. Точечные тепловые извещатели максимального типа. Харьков, 2005. 129 с.
6. Арутюнян Д.М. Новые технологии гарантированного предотвращения пожаров. Москва, 2014. 232 с.
7. Абрамов Ю.А., Губарев А.П., Узунов А.В. и др. Управление в технических системах с газовым и жидким компонентом. Киев, 1997. 285 с.
8. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Оценка быстродействия датчиков первичной информации систем автоматического пожаротушения со сферическим терморезистивным чувствительным элементом // Проблемы надзвичайних ситуацій. 2006. Вип. 3. С. 128–137.
9. Абрамов Ю.А., Гвоздь В.М., Тищенко Е.А. Повышение эффективности обнаружения пожара по температуре. Харьков, 2011. 129 с.
10. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Определение временных характеристик тепловых пожарных извещателей при автономных испытаниях. Харьков, 2011. 110 с.
11. Кальченко Я.Ю., Абрамов Ю.А. Идентификация динамического параметра пожарных извещателей с

терморезистивным чувствительным элементом // Проблемы пожарной безопасности. 2015. Вып. 37. С. 71–74.

12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. Москва, 1968. – 720 с.

13. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в Matlab. Санкт-Петербург, 2005. 512 с.

14. Спосіб визначення часу спрацювання теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом: пат. 115933 Україна. №201604947; заявл. 26.12.2016; опубл.10.01.2018, Бюл. № 1.

## References

1. Gvozdz, M.V. (2005) *Thermoresistive thermal fire detectors with improved characteristics and methods of their temperature tests*: dis. ... Cand. tech. Sciences: Cherkasy, 181 p.
2. Sharovar, F.I. (2013) *Fire warning automation (theory and practice of fire prevention of low-power fires)*. Moscow, 556 p.
3. GOST R 53325-2012. (2012) Edition. *Fire equipment. Technical means of fire automation. General technical requirements and test methods*. Moscow, 270 p.
4. DSTU EN 54-5: 2003. (2004) Edition. *Fire alarm systems. Part 5. Detectors fire thermal point*. (EN 54-5: 2000, IDI). Kyiv, 162 p.
5. Abramov, Y.A., Kurinny, E.V. (2005) *Spot heat detectors of the maximum type*. Kharkiv, 129 p.
6. Harutyunyan, D.M. (2014) *New technologies of guaranteed fire prevention*. Moscow, 232 p.
7. Abramov, Yu.A., Gubarev, A.P., Uzunov, A.V. etc. (1997) *Management in technical systems with gas and liquid component*. Kiev, 285 p.
8. 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.

9. Abramov, Yu.A., Gvozdz, V.M., Tishchenko, E.A. (2011) *Improving the efficiency of fire detection by temperature*. Kharkiv, 129 p.

10. Abramov, Yu.A., Basmanov, A.E. (2011) *Determination of time characteristics of thermal fire detectors during autonomous tests*. Kharkiv, 110 p.

11. Kalchenko, Ya.U., Abramov, Yu.A. (2015) Identification of the dynamic parameter of fire detectors with a thermoresistive sensitive element. *Problems of fire safety*, 37, 71–74.

12. Korn, G., Korn, T. (1968) *Handbook of Mathematics*. Moscow, 720 p.

13. Lazarev, Yu. (2005) *Modeling of processes and systems in Matlab*. St. Petersburg, 512 p.

14. *A method of determining the time of operation of thermal fire detectors with a thermoresistive sensing element*: US Pat. 115933 Ukraine. №201604947; declared 26/12/2016; publ.10.01.2018, Bull. No 1.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., г. н. с. наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру О.Є. Басманов, Національний університет цивільного захисту України, Україна.

**Автор:** КОЗАК Ярослав Ярославович  
ад'юнкту ад'юнктури

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

E-mail – [yaruk.38@gmail.com](mailto:yaruk.38@gmail.com)

## PULSE METHOD FOR DETERMINATION OF TIME PARAMETERS THERMAL FIRE DETECTOR

Ya. Kozak

Lviv State University of Life Safety, Ukraine

*For thermal fire detectors with a thermoresistive sensitive element, the method of determining its time parameters is justified. The time parameters of operation and the time constant of the thermal fire detector are considered as time parameters. The method is based on the use of the Joule-Lenz effect, for the implementation of which single pulses of electric current are passed through the thermoresistive sensitive element of the fire detector. Pulses having the shape of a quarter sinusoid or a quarter cosinusoid are used as such test signals. Using the Laplace integral transformation, analytical expressions are obtained, which represent the formalization of the reaction of the thermoresistive sensitive element of the fire detector to the corresponding test signals. These analytical expressions are used to obtain the functional dependences of the fire detector time constants on the pulse duration of the electric current and the auxiliary parameter. The auxiliary parameter is the ratio of the values of the output signal of the thermal fire detector at two fixed points in time. This choice of auxiliary parameter allows to ensure invariance with respect to the transfer coefficient of the thermal fire detector with a thermoresistive sensing element. The fixed moments of time are chosen to be equal to half and three quarters of the duration of the pulses of electric current flowing through the thermoresistive sensitive element of the fire detector. The time of operation of the thermal fire detector is determined in the form of two additive components, one of which is a time constant of the fire detector, and the other is determined by the values of normalized parameters in accordance with existing regulations. A sequence of procedures is given, which together represent a method of determining the time parameters of thermal fire detectors of this type.*

**Keywords:** fire detector, thermoresistive sensitive element, operation time, time constant.