

*Я.Ю. Кальченко, ад'юнкт, НУЦЗУ,
Ю.О. Абрамов, д.т.н., професор, голов.н.с., НУЦЗУ*

СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СПРАЦЬОВУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

Розглянуті способи визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів з терморезистивним чутливим елементом, що проводяться у автоматичному режимі.

Ключові слова: тепловий пожежний сповіщувач, час спрацьовування, терморезистивний чутливий елемент.

Постановка проблеми. Однією з проблем, що виникають на шляху підвищення ефективності виявлення загорань, є недосконала система експлуатації теплових пожежних сповіщувачів. Одним із напрямків її удосконалення є розробка способів випробувань теплових пожежних сповіщувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі способи визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів поділяються на стаціонарні і об'єктові. Стаціонарні способи приведені у [1, 2]. Спосіб, що приведений у [1], передбачає проведення випробувань сповіщувачів у тепловому каналі шляхом створення на нього лінійно-зростаючого теплового впливу. Спосіб, що приведений у [2], передбачає проведення випробувань сповіщувачів тестовими осередками пожеж ТП-1, ТП-5 та ТП-6. Недоліком таких способів є значний час проведення випробувань, оскільки вони проводяться у спеціальних приміщеннях і потребують демонтажу сповіщувачів з місця установки. Об'єктові способи визначення часу спрацьовування ТПС здійснюються безпосередньо на об'єкті, спеціальними приладами для створення зовнішнього теплового впливу. Найбільше розповсюджені прилади, що представляють собою невеликі камери з нагрівальним елементом та вентилятором, що створюють тепловий потік, тим самим збільшують температуру повітря навколо сповіщувача [3]. Існують альтернативні об'єктові способи визначення часу спрацьовування сповіщувачів, що представлені у [4]. Загальним недоліком об'єктових способів визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів є їх здійснення у ручному режимі, при якому можлива поява суб'єктивних похибок, викликаних діями оператора.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є розробка способів визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів, що здійснюються у автоматичному режимі.

Існуючі теплові пожежні сповіщувачі побудовані з використанням різних фізичних принципів дії та, відповідно, різними чутливими елементами. Одним з видів ТПС є сповіщувачі з терморезистивним чутливим елементом, фізичний принцип побудови яких відкриває можливості для визначення його часу спрацьовування у автоматичному режимі. У зв'язку з цим був розроблений спосіб визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів з терморезистивним чутливим елементом [5], що полягає у наступному.

Через терморезистивний ЧЕ ТПС пропускають постійний по величині електричний струм I . Тоді теплові процеси в такому ЧЕ будуть описуватись рівнянням

$$a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + KI^2 = 0, \quad (1)$$

де $\theta = T - T_0$ – перевищення температури T чутливого елемента відносно початкового значення T_0 ; K – коефіцієнт передачі, з початковими та граничними умовами

$$\theta(r,0) = 0; \quad \frac{\partial \theta(0,t)}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial \theta(R,t)}{\partial r} = -h\theta(R,t), \quad (2)$$

де h – відносний коефіцієнт теплообміну; R – характерний розмір терморезистивного чутливого елемента сповіщувача.

За умов (2) диференціальне рівняння (1) при малих значеннях числа Біо має розв'язок

$$\theta = KI^2 a^{-1} \left(\frac{R}{\mu_1} \right) = KI^2 \tau, \quad (3)$$

де τ – постійна часу терморезистивного чутливого елемента; μ_1 – перший корінь трансцендентного рівняння

$$\mu J_1(\mu) - \text{Bi} J_0(\mu) = 0. \quad (4)$$

Величина перевищення температури терморезистивного чутливого елемента, яка описується виразом (3), вимірюється.

Згідно з графіком, що представлений на рис. 1, час спрацьовування сповіщувачів визначається виразом

$$t_c = t_1 + \tau = \frac{T_c - T_0}{b} + \tau, \quad (5)$$

де T_c – температура спрацьовування сповіщувача; b – швидкість зміни температури.

З урахуванням залежності (3) вираз (5) приймає вигляд

$$t_c = \frac{T_c - T_0}{b} + \frac{\theta}{KI^2}. \quad (6)$$

Величини T_c , T_0 , та b вибирають апріорі згідно з [1], значення яких дорівнює: $T_0 = 25^\circ \text{C}$; $T_c = (54 \div 160)^\circ \text{C}$; $b = (0,017 \div 0,5)^\circ \text{C}/\text{c}$. Недоліком такого способу визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів є низька точність. Цей недолік було усунуто у способі [6], який полягає у наступному.

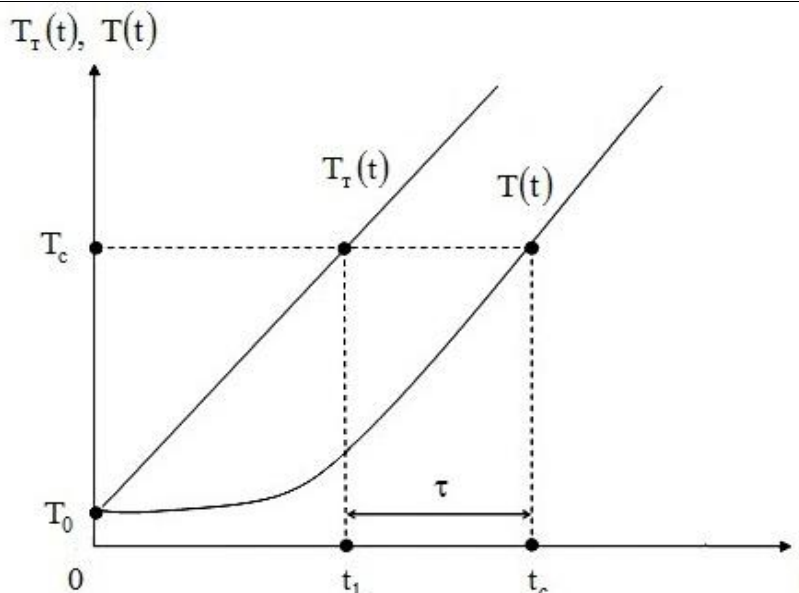


Рис. 1. Залежності температури у тепловій камері $T_T(t)$ та температури чутливого елемента $T(t)$

Через терморезистивний чутливий елемент сповіщувача пропускають імпульс електричного струму у вигляді чверті косинусоїди (залежність 1 на рис. 2), який описується виразом

$$i(t) = I \cos \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)], \tag{7}$$

де I, t_0 – амплітуда та тривалість імпульсу електричного струму відповідно; $1(\cdot)$ – функція Хевісайда.

Згідно з законом Джоуля-Ленца чутливий елемент сповіщувача реагує на такий тепловий вплив наступним чином (залежність 2 на рис.2)

$$i^2(t) = 0,5I^2 \left[\left(1 + \cos \frac{\pi t}{2t_0} \right) 1(t) - \left(1 - \cos \frac{\pi(t - t_0)}{2t_0} \right) 1(t - t_0) \right]. \tag{8}$$

Реакція чутливого елемента на таку теплову дію електричного струму буде мати вигляд

$$\theta^2(t) = 0,5KI^2\tau L^{-1} \times \left[2p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0} \right)^2 [1 - \exp(-pt_0)] \left[p \left[p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] (\tau p + 1)^{-1} \right] \right], \tag{9}$$

де L^{-1} – оператор зворотнього перетворення Лапласа.

Для інтервалу часу, на якому

$$\frac{\partial \theta(t)}{\partial t} < 0, \tag{10}$$

згідно із (9) має місце

$$\theta^2(t) = 0,5KI^2\tau \left[1 + \frac{t^2}{t_0^2} + (\pi\tau)^2 \right]^{-1} \left[t_0^2 \cos \frac{\pi t}{t_0} + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t}{t_0} \right], \quad (11)$$

що показано на рис. 2.

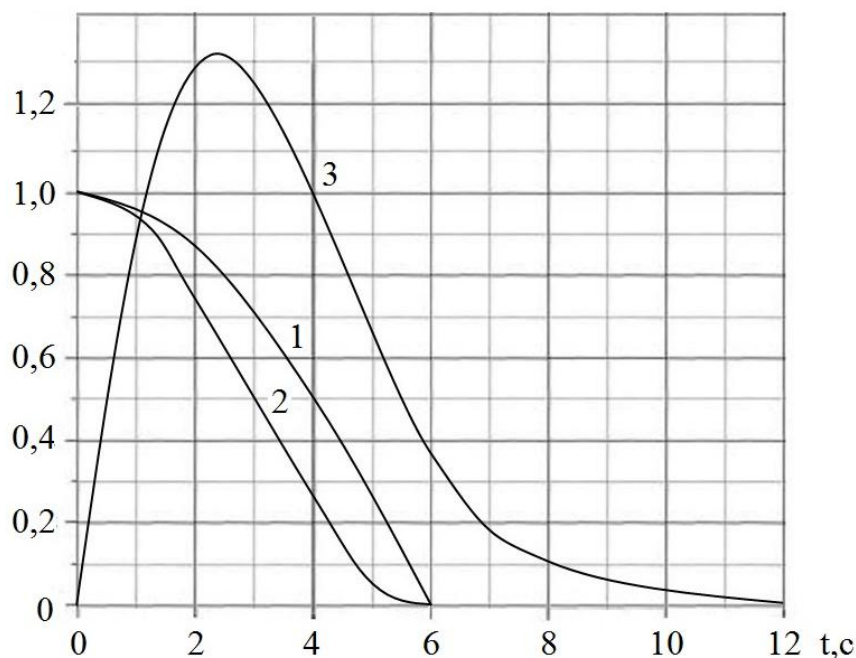


Рис. 2. Залежності: 1 – $i(t)I^{-1}$ (при $t_0 = 6$ с; $\tau = 1,5$ с;); 2 – $[2i(t)I^{-1}]^2$; 3 – $2\theta(t)(KI^2\tau)^{-1}$

В момент часу $t = 0,5t_0$, в який вимірюють реакцію терморезистивного ЧЕ ТПС, вираз (11) трансформується до вигляду

$$\theta(0,5t_0) = 0,5KI^2\tau \left[1 + \pi t_0 \tau \left[t_0^2 + (\pi\tau)^2 \right]^{-1} \right]. \quad (12)$$

В момент часу $t = 0,75t_0$, в який також вимірюють реакцію терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача, вираз (11) трансформується до вигляду

$$\theta(0,75t_0) = 0,5KI^2\tau \left[1 - 0,7(t_0^2 - \pi t_0 \tau) \left[t_0^2 + (\pi\tau)^2 \right]^{-1} \right]. \quad (13)$$

Відношення результату першого виміру реакції чутливого елемента сповіщувача на теплову дію електричного струму до результату другого виміру є відношення (12) до (13), тобто

$$\frac{\theta(0,5t_0)}{\theta(0,75t_0)} = \frac{t_0^2 + (\pi\tau)^2 + \pi t_0 \tau}{t_0^2 + (\pi\tau)^2 - 0,7(t_0^2 - \pi t_0 \tau)} = \alpha. \quad (14)$$

Із (14) витікає алгебраїчне рівняння

$$\pi^2(\alpha - 1)\tau^2 + \pi t_0(0,7\alpha - 1)\tau + t_0^2(0,3\alpha - 1) = 0, \quad (15)$$

одним з коренів якого є

$$\tau = t_0 \left[2\pi(\alpha - 1)^{-1} \right]^{1/2} \left[1 - 0,7\alpha + (3,8\alpha - 0,7\alpha^2 - 3)^{0,5} \right] \quad (16)$$

Час спрацьовування теплового пожежного сповіщувача визначається виразом

$$t_c = (T_c - T_0)b^{-1} + \tau. \quad (17)$$

З урахуванням (16) вираз (17) приймає вигляд

$$t_c = (T_c - T_0)b^{-1} + t_0 \left[2\pi(\alpha - 1)^{-1} \right]^{1/2} \left[1 - 0,7\alpha + (3,8\alpha - 0,7\alpha^2 - 3)^{0,5} \right] \quad (18)$$

який використовується для визначення часу спрацьовування теплового пожежного сповіщувача з терморезистивним ЧЕ.

За умов, що вимір реакції чутливого елемента сповіщувача здійснюється із похибкою Δ , можна записати

$$\begin{aligned} \frac{\theta(0,5t_0) + \Delta}{\theta(0,75t_0) + \Delta} &= \frac{\theta(0,5t_0) \left[1 + \Delta [\theta(0,5t_0)]^{-1} \right]}{\theta(0,75t_0) \left[1 + \Delta [\theta(0,75t_0)]^{-1} \right]} \approx \\ &\approx \frac{\theta(0,5t_0)}{\theta(0,75t_0)} \left[1 + \frac{\Delta}{\theta(0,5t_0)} \right] \left[1 - \frac{\Delta}{\theta(0,75t_0)} \right] \approx \\ &\approx \frac{\theta(0,5t_0)}{\theta(0,75t_0)} \left[1 + \frac{\Delta}{\theta(0,5t_0)} - \frac{\Delta}{\theta(0,75t_0)} \right]. \end{aligned} \quad (19)$$

Із (19) витікає, що наявність абсолютної похибки Δ обумовлює появу складової в загальній похибці визначення часу спрацьовування ТПС, відносна величина якої визначається виразом

$$\delta_1 = \Delta \left[[\theta(0,5t_0)]^{-1} - [\theta(0,75t_0)]^{-1} \right]. \quad (20)$$

Згідно з рис. 2 для $t = 0,5t_0$ і для $t = 0,75t_0$ має місце $\theta(0,5t_0) = 1,11 \text{ КІ}^2$; $\theta(0,75t_0) = 0,67 \text{ КІ}^2$. Вираз (20) з урахуванням цих величин приймає вигляд

$$\delta_1 = \frac{0,58\Delta}{\text{КІ}^2}. \quad (21)$$

Для способу, що приведений у [5], має місце похибка

$$\delta_2 = \frac{\Delta}{\theta} = \frac{\Delta}{KI^2\tau} = \frac{0,67\Delta}{KI^2}. \quad (22)$$

Порівнявши вирази (21) та (22), можна сказати, що похибка при реалізації другого способу визначення часу спрацьовування ТПС з терморезистивним ЧЕ зменшується на 15,5 %.

Висновки. Розглянуті два способи визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів з терморезистивним чутливим елементом, що здійснюються у автоматичному режимі. В основу обох способів покладено використання закону Джоуля-Ленца. При першому способі через терморезистивний чутливий елемент сповіщувача пропускається постійний за величиною електричний струм, а при другому імпульс електричного струму у вигляді косинусоїди. Показано, що у порівнянні з першим способом визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів, похибка при реалізації другого способу зменшується на 15,5 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ EN 54-5:2003. Видання. Системи пожежної сигналізації. Частина 5. Сповіщувачі пожежні теплові точкові (EN 54-5: 2000, IDT). Київ, 2004. 162 с.
2. ГОСТ Р 53325-2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний. Москва, 2014. 270 с.
3. Testing a fire detector sensor: пат. 7609154 B2 USA, № 11/587,461; заявл. 29.04.05; опубл. 27.10.09, 120 с.
4. Абрамов Ю. О. Теплові пожежні сповіщувачі та їх випробування: монографія. Харків: НУЦЗУ, 2016. 120 с.
5. Спосіб визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом: пат. 110590 Україна. № а 201501322 ; заявл. 10.07.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. №1. 3 с.
6. Спосіб визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом: пат. 115933 Україна. № а 201604947 ; заявл. 26.12.2016 ; опубл. 10.01.2018, Бюл. №1. 4 с.

Отримано редколегією 11.09.2019

Я.Ю. Кальченко, Ю.О. Абрамов

Способы определения времени срабатывания тепловых пожарных извещателей

Рассмотрены способы определения времени срабатывания тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом.

Ключевые слова: тепловой пожарный извещатель, время срабатывания, терморезистивный чувствительный элемент.

Yu. Kalchenko, Y. Abramov

Methods for determining the response time of heat fire detectors

Methods for determining the response time of heat fire detectors with a thermistor are considered.

Keywords: heat fire detector, response time, thermistor.