

Собина В.О., Поліванов О.Г., Соколов Д.Л., Черниш Р.А., Щербак С.М

Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

ДИНАМІЧНІ ПОХИБКИ ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

Розглянуто два типи теплових пожежних сповіщувачів – максимального та диференціюючого типів. Для таких пожежних сповіщувачів одержані математичні моделі, які описують їх детерміновані похибки, а також стохастичні похибки, які обумовлені пульсаціями теплового чинника пожежі. Показано, що для теплових пожежних сповіщувачів диференціюючого типу середньоквадратична похибка в декілька разів менше у порівнянні із пожежними сповіщувачами максимального типу.

Ключові слова: тепловий пожежний сповіщувач, динамічна похибка, дисперсія.

Постановка проблеми

Інтенсифікація процесів введення до експлуатації промислових об'єктів, їх реконструкція, впровадження інноваційних технологій, розширення асортименту матеріалів тощо – все це обумовлює наявність тенденції до зниження рівня пожежної безпеки таких об'єктів [1]. В невеликій країні одна велика пожежа може привести до таких матеріальних втрат, які можуть дестабілізувати всю її економіку [2]. Одним із радикальних напрямків стосовно зниження матеріальних втрат від пожеж є ідентифікація небезпечних чинників пожеж на їх початковій стадії для формування алгоритмів функціонування систем пожежогасіння [3]. Рівень ефективності систем пожежогасіння визначається рівнем досконалості технічних характеристик датчиків первинної інформації – пожежних сповіщувачів та ефективністю їх системи експлуатації. Підвищення рівня досконалості технічних характеристик пожежних сповіщувачів потребує адекватного математичного опису їх роботи. Однією із проблем при цьому є одержання математичних моделей, які відображають вплив параметрів пожежних сповіщувачів та варіацій теплових чинників пожежі на результат їх визначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Із всіх видів пожежних сповіщувачів найбільш поширеними є теплові пожежні сповіщувачі. Зокрема, в [3] відмічається, що 77% технологічних приміщень АЕС із реакторами ВВЕР – 1000 оснащені тепловими пожежними сповіщувачами максимального типу, а для АЕС із реакторами РБМК їх кількість складає 75%. Для побудови таких пожежних сповіщувачів використовуються різні фізичні ефекти та явища – ефекти Кюрі та пам'яті форма, термоелектричний,

тензорезистивний ефекти, явища Томпсона та Зеебека, ефект Джоуля Ленца [4, 5]. В [6] наведені математичні моделі, які описують процеси в теплових пожежних сповіщувачах із використанням ефекту Кюрі. Ці математичні моделі одержані експериментальним шляхом. В [7] та в [8] одержані математичні моделі для теплових пожежних сповіщувачів із використанням ефекту Джоуля – Ленца. Для побудови таких математичних моделей використано диференційне рівняння Фур'є. Слід відмітити, що серед фізичних явищ та ефектів, що використовуються для побудови теплових пожежних сповіщувачів, терморезистивний ефект займає одну із провідних позицій [9]. Це обумовлено простотою технічної реалізації та високою чутливістю таких пожежних сповіщувачів. Основні характеристики теплових пожежних сповіщувачів, до яких в першу чергу відносяться час спрацювання або індекс часу спрацювання, визначаються, як правило, експериментальним шляхом [10] при їх випробуваннях. Приклади такого підходу наведені в [11] або в [12], де представлені результати одержання оцінок часу спрацювання та індексу часу спрацювання теплових пожежних сповіщувачів максимального типу. Слід відмітити, що при випробуванні теплових пожежних сповіщувачів не визначаються їх динамічні характеристики як у часовій, так і в частотній областях [7]. В кращому випадку можуть визначатись лише динамічні параметри, зокрема, постійна часу пожежного сповіщувача. У зв'язку із цим слід виділити результати досліджень, які наведені в [13], де наведені алгоритми одержання амплітудно – та фазово – частотних характеристик теплових пожежних сповіщувачів. Слід зазначити, що в переважній більшості випадків не визначаються метрологічні характеристики пожежних сповіщувачів. Як правило, такі дослідження носять локальний характер. Приклад

такого підходу наведено в [14]. Поза межами досліджень стосовно до теплових пожежних сповіщувачів залишилися одержання оцінок похибок, що обумовлені інерційними властивостями цих сповіщувачів, а також впливом пульсацій теплових чинників пожежі. У зв'язку із цим доцільним є проведення досліджень, які направлені на визначення динамічних похибок теплових пожежних сповіщувачів.

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є одержання аналітичних залежностей для похибок теплових пожежних сповіщувачів максимального та диференціюючого типів, які обумовлені впливом їх інерційних властивостей та пульсаціями теплового чинника пожежі. Об'єктом дослідження є теплові пожежні сповіщувачі максимального та диференціюючого типів. Предметом дослідження є динамічні похибки теплових пожежних сповіщувачів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- побудувати математичні моделі для детермінованих динамічних похибок теплових пожежних сповіщувачів максимального та диференціюючого типів, які обумовлені їх інерційними властивостями;
- одержати математичний опис для похибок теплових пожежних сповіщувачів, які обумовлені пульсаціями теплового чинника пожежі.

Виклад основного матеріалу

Передаточна функція теплового пожежного сповіщувача (ТПС) максимального типу описується виразом

$$W_1(p) = K_1(\tau_1 p + 1)^{-1}, \quad (1)$$

де K_1, τ_1 – коефіцієнт передачі, та постійна часу, с ТПС відповідно; p – комплексна змінна, s^{-1} .

Для детермінованої динамічної похибки ТПС максимального типу має місце

$$\delta_1(t) = L^{-1}[W_{п1}(p)\theta(p)], \quad (2)$$

де L^{-1} – оператор зворотного перетворення Лапласа; $W_{п1}(p)$ – передаточна функція похибки; $\theta(p)$ – зображення по Лапласу від температури на вході ТПС; t – час, с.

Передаточна функція $W_{п1}(p)$ описується наступним чином

$$W_{п1}(p) = K_1[1 - (\tau_1 p + 1)^{-1}] = K_1 \tau_1 p (\tau_1 p + 1)^{-1}. \quad (3)$$

Якщо $\theta(t) = \theta = \text{const}$, то динамічна похибка $\delta_{11}(t)$ згідно (2) та (3) буде мати наступний вираз

$$\delta_{11}(t) = K_1 \theta \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right), \quad (4)$$

із якого витікає, що при $t \gg \tau_1$ величина динамічної похибки ТПС максимального типу дорівнює нулю.

При $\theta(t) = at$, де $a = \text{const}$, динамічна похибка $\delta_{12}(t)$ описується виразом

$$\delta_{12}(t) = K_1 \tau_1 a \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right)\right], \quad (5)$$

із якого витікає, що при $t \gg \tau_1$ величина динамічної похибки ТПС максимального типу визначається наступним чином

$$\delta_{12} = K_1 \tau_1 a = \text{const}. \quad (6)$$

Теплові пожежні сповіщувачі диференціюючого типу в переважній більшості випадків будуються із використанням двох чутливих елементів із різними величинами постійних часу [5]. Внаслідок цього передаточна функція таких ТПС визначається наступним чином

$$W_2(p) = K_1(\tau_1 p + 1)^{-1} - K_2(\tau_2 p + 1)^{-1} = K_1 \left[\left(\tau_2 - K_2 K_1^{-1} \tau_1 \right) p + 1 - K_2 K_1^{-1} \right] \times \left[\prod_{i=1}^2 (\tau_i p + 1) \right]^{-1}, \quad (7)$$

де K_i, τ_i – коефіцієнт передачі та постійна часу i -го ТПС. В виразі (7) повинна виконуватись умова

$$\tau_2 > \tau_1. \quad (8)$$

Якщо $K_1 = K_2 = K$, то вираз (7) трансформується наступним чином

$$W_2(p) = K(\tau_2 - \tau_1) p \left[\prod_{i=1}^2 (\tau_i p + 1) \right]^{-1}. \quad (9)$$

і формалізує диференціюючі властивості ТПС.

Динамічна похибка ТПС диференціюючого типу по аналогії із (2) визначається виразом

$$\delta_2(t) = L^1[W_{n2}(p)\theta(p)], \quad (10)$$

де $W_{n2}(p)$ – передаточна функція похибки, яка має вигляд

$$\begin{aligned} W_2(p) &= K(\tau_2 - \tau_1)p \left[1 - \left[\prod_{i=1}^2 (\tau_i p + 1) \right]^{-1} \right] = \\ &= K(\tau_2 - \tau_1)p^2(\tau_1\tau_2p + \tau_1 + \tau_2) \times \\ &\times \left[\prod_{i=1}^2 (\tau_i p + 1) \right]^{-1}. \end{aligned} \quad (11)$$

При $\theta(t) = \theta = \text{const}$ динамічна похибка ТПС згідно (10) та (11) має наступний опис

$$\begin{aligned} \delta_{21}(t) &= K\theta \left[\Delta(t)(\tau_2 - \tau_1) + \right. \\ &\left. + \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) - \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right], \end{aligned} \quad (12)$$

де $\Delta(t)$ – дельта функція.

Слід зазначити, що при $t \gg \tau_2$ має місце

$$\delta_{21}(t \gg \tau_2) = 0. \quad (13)$$

При $\theta(t) = at$, $a = \text{const}$ вираз для динамічної похибки ТПС диференціюючого типу має наступний вигляд

$$\delta_{22}(t) = Ka \left[\tau_2 \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) - \tau_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right]; \quad (14)$$

який за умови, що $t \gg \tau_2$ наближається до нуля.

Слід відмітити, що початкова стадія пожежі характеризується лінійною зміною температури [15]. Внаслідок цього із аналізу виразів (5) та (14) витікає, що для виявлення теплового чинника пожежі доцільним є використання ТПС диференціюючого типу. Це обумовлено тим, що в режимі, який встановився, величина динамічної похибки ТПС диференціюючого типу дорівнює нулю. При використанні ТПС максимального типу величина динамічної похибки в режимі, який встановився, визначається виразом (6). У відповідності до євро стандарту EN 54-5 мінімальна величина постійної часу τ_1 складає 20,0с. Для пожеж у житлових приміщеннях із площею

відкритих прорізів 2,0 м² величина швидкості зростання температури а складає $(0,8 \div 1,2)^\circ\text{C} \cdot \text{с}^{-1}$. Для таких умов величина динамічної похибки ТПС максимального типу (при $K_1 = 1,0$) буде складати $(16,0 \div 24,0)^\circ\text{C}$.

Особливістю процесу горіння є те, що йому притаманні пульсації температури, які носять стохастичний характер. Формалізація цього явища може бути здійснена за допомогою кореляційної функції, яка має вигляд

$$R(t) = \sigma^2 \exp[\alpha abc(t)], \quad (15)$$

де σ^2 – дисперсія температури, $(^\circ\text{C})^2$; α – параметр, с^{-1} .

Кореляційній функції (15) відповідає спектральна щільність

$$S(\omega) = 2\alpha\sigma^2(\alpha^2 + \omega^2)^{-1}, \quad (16)$$

де ω – кругова частота, с^{-1} .

Наявність виразу (16) для спектральної щільності дозволяє представити вираз для дисперсії вихідного сигналу ТПС максимального типу в вигляді

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A_1^2(\omega) S(\omega) d\omega, \quad (17)$$

де $A_1(\omega)$ – амплітудно – частотна характеристика ТПС, яка має наступний вигляд

$$\begin{aligned} A_1(\omega) &= \text{abs}[W_1(j\omega)] = \text{abs}[K_1(1 + j\omega\tau_1)^{-1}] = \\ &= K_1[1 + (\omega\tau_1)^2]^{-0,5}. \end{aligned} \quad (18)$$

В цьому виразі $j = (-1)^{0,5}$ – уявна одиниця.

Якщо взяти до уваги табличний інтеграл [16]

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_0^{\infty} \left[(\tau_1^{-2} + \omega^2)(\alpha^2 + \omega^2) \right]^{-1} d\omega = \\ &= \pi_1 [\alpha(1 + \alpha\tau_1)]^{-1}, \end{aligned} \quad (19)$$

то об'єднання (16) – (19) приводить до виразу

$$\sigma_1^2 = K_1^2 \sigma^2 (1 + \alpha\tau_1)^{-1}. \quad (20)$$

При $K_1 = 1,0$, що відповідає розгляду умов на виході чутливого елемента ТПС, а також при $\tau_1 = 20,0\text{с}$ та $\alpha = (0,5 \div 2,5)\text{с}^{-1}$ дисперсія температури, яка обумовлена її пульсаціями, послаблюється чутливим елементом ТПС максимального типу в $(11,0 \div 51,0)$ разів.

Для дисперсії вихідного сигналу ТПС диференціюючого типу по аналогії із (17) маємо вираз

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A_2^2(\omega) S(\omega) d\omega, \quad (21)$$

де $A_2(\omega)$ – амплітудно – частотна характеристика ТПС диференціюючого типу, яка має наступний опис

$$A_2(\omega) = \text{abs}[W_2(j\omega)] = \text{abs}[K(\tau_2 - \tau_1)j\omega \times \left[\prod_{i=1}^2 (1 + j\omega\tau_i) \right]^{-1}] = K(\tau_2 - \tau_1) \times \left[\prod_{i=1}^2 (1 + (\omega\tau_i)^2)^{0,5} \right]^{-1}. \quad (22)$$

Враховуючи (16) та (22), вираз (21) можна переписати наступним чином

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [\text{abs}[K(\tau_2 - \tau_1)\sqrt{2\alpha}j\omega[(\alpha + j\omega) \times \prod_{i=1}^2 (1 + j\omega\tau_i)]^{-1}]]^2 d\omega. \quad (23)$$

Для визначення цієї дисперсії скористаємося виразом табличного інтегралу [17]

$$\sigma_2^2 = I_3 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-\infty}^{\infty} M_3(\omega) [N_3(\omega)N_3(-\omega)]^{-1} d\omega, \quad (24)$$

де

$$M_3(\omega) = j(-1)^3 2\alpha [\sigma K(\tau_2 - \tau_1)\omega]^2; \quad (25)$$

$$N_3(\omega) = -j\omega^3 \tau_1 \tau_2 - \omega^2 (\tau_1 + \tau_2 + \alpha \tau_1 \tau_2) + j\omega [1 + \alpha(\tau_1 + \tau_2)] + \alpha. \quad (26)$$

Цей табличний інтеграл визначається наступним чином

$$I_3 = \left(-a_2 b_0 + a_0 b_1 - a_0 a_1 a_3^{-1} b_2 \right) \times [2a_0(a_0 a_3 - a_1 a_2)]^{-1}, \quad (27)$$

де

$$a_0 = -j\tau_1 \tau_2;$$

$$a_1 = -(\tau_1 + \tau_2 + \alpha \tau_1 \tau_2); \quad b_0 = b_2 = 0;$$

$$a_2 = j(1 + \alpha(\tau_1 + \tau_2)); \quad b_1 = -j2\alpha [\sigma K(\tau_2 - \tau_1)]^2.$$

$$a_3 = \alpha;$$

(28)

Об'єднання (27) та (28) приводить до наступного виразу стосовно дисперсії σ_2^2

$$\sigma_2^2 = K^2 (\tau_2 - \tau_1)^2 \alpha^2 [(1 + \alpha(\tau_1 + \tau_2) + \alpha^2 \tau_1 \tau_2)]^{-1}. \quad (29)$$

При $K = 1,0$; $\tau_1 = 20,0\text{с}$, $\tau_2 = 60,0\text{с}$ та $\alpha = (0,5 \div 2,5)\text{с}^{-1}$ дисперсія σ_2^2 є меншою порівняно із дисперсією σ^2 в $(34 \div 150)$ разів.

Фізично зменшення величин дисперсій σ_1^2 та σ_2^2 на виходах чутливих елементів ТПС означає, що ці чутливі елементи мають властивості фільтрів нижніх частот, які забезпечують фільтрацію високих частот пульсацій теплового чинника пожежі.

Слід зазначити, що для (29) має місце

$$\lim_{\tau_2 \gg \tau_1} \sigma_2^2 = K^2 \sigma^2 (1 + \alpha \tau_1)^{-1} \quad (30)$$

і цей результат повністю співпадає із виразом (20). Це означає, що при $\tau_2 \gg \tau_1$ ТПС втрачає диференціюючі властивості. Внаслідок цього при побудові ТПС диференціюючого типу із використанням двох чутливих елементів з різними величинами постійних часу слід дотримуватись умови (8).

Висновки

1. Побудовані математичні моделі для детермінованих динамічних похибок теплових пожежних сповіщувачів двох типів - максимального та диференціюючого типів. Одержання таких математичних моделей оснований на використанні інтегрального перетворення Лапласа. Показано, що

для теплових пожежних сповіщувачів максимального типу при тепловому впливі пожежі, який описується функцією Хевісайда, в режимі що встановився, динамічна похибка відсутня. Якщо тепловий вплив пожежі має лінійний характер, то динамічна похибка такого пожежного сповіщувача в режимі, що встановився, є постійною величиною, яка залежить від постійної часу сповіщувача та швидкості зростання температури пожежі. Показано, що для теплових пожежних сповіщувачів диференціюючого типу величина їх динамічної похибки в режимі, що встановився, при таких же теплових впливах пожежі, як і для пожежних сповіщувачів максимального типу, дорівнює нулю.

2. Для одержання математичного опису похибок теплових пожежних сповіщувачів обох типів, які обумовлені пульсаціями теплового чинника пожежі, використовується дисперсія вихідних сигналів пожежних сповіщувачів. Визначення цих дисперсій оснований на використанні амплітудно – частотних характеристик теплових пожежних сповіщувачів та спектральної щільності, що описує пульсації теплового чинника пожежі. Показано, що визначення дисперсій вихідних сигналів теплових пожежних сповіщувачів зводиться до використання табличних інтегралів. Зазначається, що теплові пожежні сповіщувачі мають властивості фільтрів нижніх частот, внаслідок чого має місце ослаблення впливу пульсацій теплового чинника пожежі на один – два порядки.

Наукова новизна полягає в тому що вперше для теплових пожежних сповіщувачів одержані математичні моделі похибок, які обумовлені їх інерційними властивостями та пульсаціями теплового чинника пожежі. Практична значимість одержаних результатів полягає в тому, що створені математичні моделі похибок теплових пожежних сповіщувачів дозволяють одержувати їх апріорні оцінки при розробці пожежних сповіщувачів такого виду.

Література

1. John R., Hall O.S. Experience with Sprinklers and Other Automatic Fire Extinguishing Equipment Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2013. 77c. URL: https://nfsa.org/wp-content/uploads/2019/US_experience_with_sprinklers_2009.pdf
2. Ahrens M. U.S. experience with sprinklers. National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division. 2017. 35. URL: <https://www.nfsa.org/media/files/news-and-research/fire-statistics-and-reports/suppression/ossprinklers.pdf>
3. Ястребенецький М.А., Васильченко В.Н., Виноградов С.В., Гольдрин В.М. та інші. Безпека атомних станцій. Інформаційні і керуючі системи. Київ. 2004. 472с.
4. Multisensor reagirt auf Bragas und Warme / UK: Holz- und Kunstf-ferlab. 2003. 38. №.2. S.84-95.

5. Садковий В.П., Абрамов Ю.О. Теоретичні основи автоматичного гасіння пожеж класу В розпиленою водою. Харків. 2010. 267с.
6. Дурєєв В.О., Христин В.В., Бондаренко С.М., Малаєров М.В., Корнієнко Р.В. Математична модель магнітоконтактного теплового сповіщувача / Проблеми надзвичайних ситуацій. 2023. №1 (37). С. 31-43. Doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-3.
7. Абрамов Ю.О., Басманов О.С., Гвоздь В.М. Методи визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом. Харків. 2013. 151с.
8. Кальченко Я.Ю., Афанасенко К.А., Ісратова Д.В. Визначення параметрів формування теплового впливу при проведенні випробувань пожежних сповіщувачів / Проблеми надзвичайних ситуацій. 2022. №1 (35). С. 147-156. Doi: 10.52363/2524-0226-2022-35-11.
9. Dinh T., Phan H., Qamar A., Woodfield P., Nguyen N., Dao D.V. Termoresistive Effect for Advanced Thermal Sensors: Fundamentals, Design Considerations, and Applications / Journal of Microelectromechanical Systems. 2017. 26 (5). P 966-986. Doi: <https://doi.org/10.1109/JMEMS.2017.2710354>
10. Jang H.-Y., Hwang C.-H. Test Method Using Shield for Evalnating Response Characteristics of Fire Detectors / Fire Science and Engineering. 2020. Vol. 34(4). P. 36-44. Doi: <https://doi.org/10.7731/kifse.8696ecf9>
11. Hong S.H., Kim D.S., Choi K.O. A Studu on the Classification of Domestic Fire Detector using Response Time Index / Journal of the Korean Sociery of Safety. 2017. Vol. 32 (2). P. 44-51 Doi: <https://10.14346/JKOSOS.2017.32.2.46>
12. Yoon G.-Y., Han H.-S., Mun S.-Y., Park C.-H., Hwang C.-H. DB Construction of Activation Temperature and Response Time Index for Domestic Fixed-temperature Heat Detectors in Ceiling Jet Flow / Fire Science and Engineering. 2020. Vol. 34(3). P. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.7731/kifse.103eea8f>
13. Abramov Yu., Kalchenko Y., Liachevska O. Determination of dynamic characteristics of heat fire detectors / Eureka: Physics and Engineering. 2019. №3. P. 50-59. Doi: 10.21303/2461-4262.2019.00898
14. Козак Я.Я. Температурна похибка при визначенні часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом/ Комунальне господарство міст 2021. Т.6. Вип. 166. С. 151-155. Doi: 10.33042/2522-1809-2021-6-166-151-155
15. Antonov I., Velichova R., Antonov S. Grozdanov K. Mathematical Modeling and Simulation of Development of the Fire in Confined Spaces. 2020 Doi:10.5772/intechopen.91274
16. Dwight H.R. Tables of integrals and other mathematical data. New York. 1961. 288p.
17. Артюшин Л.М., Машков О.А., Сівов М.С. Теорія автоматичного керування. Київ. 2000. 320с.

References

1. John R., Hall O.S. Experience with Sprinklers and Other Automatic Fire Extinguishing Equipment Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2013. 77c. URL: https://nfsa.org/wp-content/uploads/2019/US_experience_with_sprinklers_2009.pdf
2. Ahrens M. U.S. experience with sprinklers. National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division. 2017. 35. URL: <https://www.nfsa.org/media/files/news-and-research/fire-statistics-and-reports/suppression/ossprinklers.pdf>
3. Iastrebenetskyi M.A., Vasylychenko V.N., Vynohradov S.V., Holdryn V.M. та insh. Bezpeka atomnykh stantsii. Informatsiini i keruiuchi systemy. Kyiv. 2004. 472s.

4. Multisensor reagiert auf Bragas und Warme / UK: Holz- und Kunstf-ferlab. 2003. 38. №2. S.84-95.
5. Sadkovyi V.P., Abramov Yu.O. Teoretychni osnovy avtomatychnoho hasinnia pozhezh klasu V rozpylenoiu vodoiu. Kharkiv. 2010. 267s.
6. Durieiev V.O., Khrystych V.V., Bondarenko S.M., Maliarov M.V., Korniienko R.V. Matematychna model mahnitnokontaktynoho teplovoho spovishchuvacha / Problemy nadzvychainykh sytuatsii. 2023. №1 (37). S. 31-43. Doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-3.
7. Abramov Yu.O., Basmanov O.Ie., Hvoz V.M. Metody vyznachennia postinoi chasu teplovykh pozhezhnykh spovishchuvachiv iz termorezystyvnym chutlyvym elementom. Kharkiv. 2013. 151s.
8. Kalchenko Ya.Iu., Afanasenko K.A., Istratova D.V. Vyznachennia parametriv formuvannia teplovoho vplyvu pry provedenni vyprobuvan pozhezhnykh spovishchuvachiv / Problemy nadzvychainykh sytuatsii. 2022. №1 (35). S. 147-156. Doi: 10.52363/2524-0226-2022-35-11.
9. Dinh T., Phan H., Qamar A., Woodfield P., Nguyen N., Dao D.V. Termoresistive Effect for Advanced Thermal Sensors: Fundamentals, Design Considerations, and Applications / Journal of Microelectromechanical Systems. 2017. 26 (5). P 966-986. Doi:https://doi.org/10.1109/JMEMS.2017.2710354
10. Jang H.-Y., Hwang C.-H. Test Method Using Shield for Evaluating Response Characteristics of Fire Detectors / Fire Science and Engineering. 2020. Vol. 34(4). P. 36-44. Doi:https://doi.org/10.7731/kifse.8696ecf9
11. Hong S.H., Kim D.S., Choi K.O. A Study on the Classification of Domestic Fire Detector using Response Time Index / Journal of the Korean Society of Safety. 2017. Vol. 32 (2). P. 44-51 Doi:https://10.14346/JKOSOS.2017.32.2.46
12. Yoon G.-Y., Han H.-S., Mun S.-Y., Park C.-H., Hwang C.-H. DB Construction of Activation Temperature and Response Time Index for Domestic Fixed-temperature Heat Detectors in Ceiling Jet Flow / Fire Science and Engineering. 2020. Vol. 34(3). P. 35-42. DOI: https://doi.org/10.7731/kifse.103eea8f
13. Abramov Yu., Kalchenko Y., Liachevska O. Determination of dynamic characteristics of heat fire detectors / Eureka: Physics and Engineering. 2019. №3. P. 50-59. Doi: 10.21303/2461-4262.2019.00898
14. Kozak Ya.Ia. Temperaturna pokhybka pry vyznachenni chasovoho parametra pozhezhnoho spovishchuvacha iz termorezystyvnym chutlyvym elementom/ Komunalne hospodarstvo mist 2021. T.6. Vyp. 166. S. 151-155. Doi: 10.33042/2522-1809-2021-6-166-151-155
15. Antonov I., Velichova R., Antonov S. Grozdanov K. Mathematical Modeling and Simulation of Development of the Fire in Confined Spaces. 2020 Doi:10.5772/intechopen.91274
16. Dwight H.R. Tables of integrals and other mathematical data. New York. 1961. 288p.
17. Artiushyn L.M., Mashkov O.A., Sivov M.S. Teoriia avtomatychnoho keruvannia. Kyiv. 2000. 320s.

Рецензент: д.т.н., професор, головний науковий співробітник наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру О.Є. Басманов, Національний університет цивільного захисту України, Україна

Автор: СОБИНА Віталій Олександрович
кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри організації і проведення аварійно – рятувальних робіт
Національний університет цивільного захисту України
E mail - sobol_84@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6908-8037>

Автор: ПОЛІВАНОВ Олександр Геннадійович
доктор філософії, доцент кафедри інженерної та аварійно – рятувальної техніки
Національний університет цивільного захисту України
E-mail - polivanov_oleksandr@nuczu.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6396-1680>

Автор: СОКОЛОВ Дмитро Львович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації і проведення аварійно – рятувальних робіт
Національний університет цивільного захисту України
E-mail - firesokol1995@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7996-689X>

Автор: ЧЕРНИШ Роман Анатолійович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації і проведення аварійно – рятувальних робіт
Національний університет цивільного захисту України
E-mail - chernysh_roman@nuczu.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6245-0707>

Автор: ЩЕРБАК Сергій Миколайович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри пожежно – рятувальної та фізичної підготовки
Національний університет цивільного захисту України
E-mail - shcherbak_serhii@nuczu.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1133-0120>

DYNAMIC ERRORS OF THERMAL FIRE DETECTORS

V. Sobyna., O. Polivanov., D. Sokolov., R. Chernysh., S.Shcherbak

National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Mathematical models have been developed for the deterministic dynamic errors of thermal fire detectors of two types: maximum-type and differentiating-type. The derivation of these mathematical models is based on the use of the Laplace integral transform. It is shown that for thermal fire detectors of the maximum-type, under thermal influence from a fire described by a Heaviside function, in a steady-state regime, there is no dynamic error. If the thermal influence of the fire is linear, the dynamic error of such a fire detector in the steady-state regime is a constant value, which depends on the time constant of the detector and the rate of temperature increase of the fire. It

is shown that for differentiating-type thermal fire detectors, the magnitude of their dynamic error in the steady-state regime, under the same thermal influences from the fire as for the maximum-type detectors, equals zero.

To obtain a mathematical description of the errors of both types of thermal fire detectors caused by pulsations in the thermal fire factor, the variance of the output signals of the detectors is used. The determination of these variances is based on the use of amplitude-frequency characteristics of thermal fire detectors and the spectral density describing the pulsations of the thermal fire factor. It is shown that determining the variances of the output signals of thermal fire detectors reduces to the use of tabulated integrals. It is noted that thermal fire detectors exhibit low-pass filter properties, which results in the attenuation of the pulsations of the thermal fire factor by one or two orders of magnitude.

The scientific novelty lies in the fact that, for the first time, mathematical models of errors for thermal fire detectors have been obtained, which are caused by their inertial properties and the pulsations of the thermal fire factor. The practical significance of the obtained results is that the developed mathematical models of errors for thermal fire detectors allow for their a priori estimation when designing fire detectors of this type.

Key words: thermal fire detector, dynamic error, variance.