



*О. Є. Васильєва¹, Я. Я. Козак¹,
О. М. Коваль²*


¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

²ТзОВ Компанія "ВСЕСВІТ КОМФОРТУ", м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2921-1760> – О. Є. Васильєва

<https://orcid.org/0000-0003-1283-2536> – Я. Я. Козак

<https://orcid.org/0000-0002-6208-6482> – О. М. Коваль

 vassabi13@ukr.net

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА

Постановка проблеми. Одним із радикальних шляхів, що забезпечують зниження втрат від пожеж, є ідентифікація небезпечних чинників пожежі на початковій стадії. Найефективніше це можна здійснити лише за допомогою автоматичних систем виявлення пожеж. Ефективність таких систем визначається передусім досконалістю технічних характеристик датчиків первинної інформації – пожежних сповіщувачів, а також ефективністю системи їх експлуатації.

Одним із різновидів пожежних сповіщувачів є теплові пожежні сповіщувачі, які найбільш поширені. Експлуатація теплових пожежних сповіщувачів передбачає визначення їхніх основних технічних характеристик, що здійснюється при їх випробуваннях. Але якщо така часова характеристика як час спрацьовування пожежних сповіщувачів визначається лише при їх стаціонарних випробуваннях, то інша часова характеристика – постійна часу, не визначається ні при стаціонарних, ні при об'єктових випробуваннях теплових пожежних сповіщувачів.

У зв'язку із цим актуальним завданням є створення методів визначення часових характеристик (параметрів) теплових пожежних сповіщувачів – часу спрацьовування і постійної часу, які орієнтовані на їх реалізацію при об'єктових випробуваннях.

Мета роботи. Розробити імітаційні моделі із використанням пакету Simulink з метою визначення часового параметра – постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Методи дослідження. Під час проведення наукових досліджень розроблено імітаційні моделі із використанням пакета Simulink для процесу визначення часового параметра – постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Основні результати дослідження. Здійснено дистанційне моделювання, метою якого було визначення оптимальної тривалості одиночних імпульсів електричного струму, за допомогою яких формується тепловий вплив на терморезистивний чутливий елемент пожежних сповіщувачів.

Висновки. В імітаційних моделях, розглянутих у статті, реалізовано формування теплового впливу внаслідок протікання через нього імпульсів електричного струму у формі чверті косинусоїди та прямокутного трикутника із амплітудою, що зменшується в часі. Показано, що розроблений метод дає можливість визначати кількісні оцінки часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом в автоматичному режимі і безпосередньо на об'єкті, що охороняється.

Ключові слова: пожежні сповіщувачі, терморезистивний чутливий елемент, імітаційна модель, часові параметри, імпульси електричного струму, випробування.

*О. Е. Vasylieva¹, Ya. Ya. Kozak¹,
O. M. Koval²*

¹Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

²LLC "Vsvevit Comfortu" company, Lviv Ukraine

SIMULATION MODEL OF THE FIRE ALARM TIME PARAMETERS DETERMINING PROCESS

Problem statement. One of the radical ways to reduce losses from fires is the dangerous fire factors identification at the initial stage. This can be done most effectively only with the help of automatic fire detection systems. The effectiveness of such systems is primarily determined by the technical characteristics and perfection of the primary information sensors - fire detectors, as well as their operating system efficiency.

One of the fire detector types is thermal one, which is the most common. The thermal fire detectors' operation involves the determination of their leading technical characteristics, which is carried out during their tests. But if such a time characteristic as the fire detectors' activation time is determined only during their stationary tests, then another time characteristic - the time constant is not determined either during stationary or object tests of thermal fire detectors. In connection with this, an urgent task is a creation of determining methods for the time characteristics (parameters) of thermal fire detectors – activation time and constant time, which are oriented toward their implementation during object tests.

Purpose. Develop simulation models using the package Simulink to determine the time parameter – time constant of fire detectors with a thermoresistive sensitive element.

Research methods. In the course of conducting scientific research, simulation models were developed using the Simulink package for the process of the time parameter determining – the fire detectors' time constant with a thermal resist sensitive element.

The main results of the study. Remote modelling was carried out, the purpose of which was to determine the optimal duration of the electric current single pulses, with the help of which the thermal effect on the thermal resist sensitive element of fire detectors is formed.

Conclusions. In the simulation models considered in the article, the thermal effect formation due to the electric current pulses flow in the form of a quarter cosine and a right triangle with an amplitude that decreases with time is realised. It is shown that the developed method makes it possible to determine quantitative estimates of the fire detectors time parameters with a thermal resist sensitive element in automatic mode and directly on the protected object.

Keywords: fire detectors, thermal resist sensitive element, simulation model, time parameters, electric current pulses, tests.

Вступ. Пожежні сповіщувачі є важливою складовою системою пожежної сигналізації, оскільки їх робота спрямована на виявлення пожежі на її початковій стадії. В сучасних системах пожежної сигналізації використовуються різні типи сповіщувачів, які дають можливість оптимізувати систему для конкретного об'єкта чи приміщення і забезпечити надійне і безпомилкове виявлення

пожежі. Одним із різновидів пожежних сповіщувачів є теплові пожежні сповіщувачі, які найбільш поширені.

Загальний вигляд та принцип роботи теплового пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом наведені на рис.1 та рис.2 на прикладі сповіщувача ИПК-9.

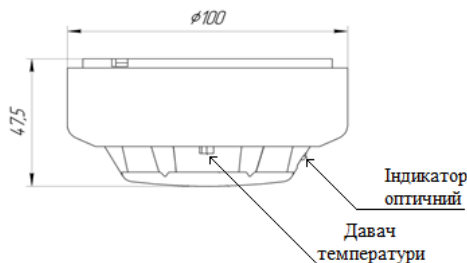


Рисунок 1 – Загальний вигляд теплового пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом ИПК-9

На корпусі блока сповіщувача розташований світловий індикатор режиму роботи сповіщувача (світлодіод червоного кольору випромінювання). При роботі сповіщувача в черговому режимі індикатор спалахує

близько одного разу на секунду, а при переході сповіщувача в режим «Тривога» - світиться безперервно. Блок сповіщувача з'єднується з розеткою чотирма контактами. ИПК-9.

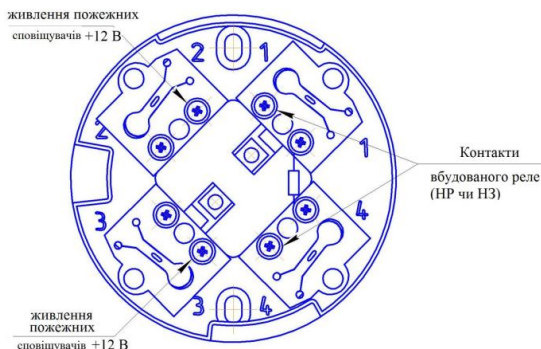


Рисунок 2 – Розетка сповіщувача ИПК-9. Загальний вигляд і розташування контактів

Аналіз стану сучасних досліджень.

Різні питання щодо пожежних сповіщувачів розглянуто у працях Ю. О. Абрамова, Ю. Ю. Переста, Є. В. Курінного, В. М. Гвоздя, В. В. Коврегін, Я. Ю. Кальченка, Д. Ф. Шаровара, А. Н. Членова, A. Szelmanowski, G. Yoon, H. Jang, V. Sharma, Y. Liming, R. Sowak.

На сьогодні для визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів проводяться їх випробування, які розділяються на стаціонарні (автономні) та оперативні (об'єктові).

Недоліком стаціонарних випробувань за допомогою теплових камер є несиметричність розподілу повітряного потоку і температури, а недоліком таких випробувань за допомогою стандартних осередків горіння є те, що параметри теплового впливу на чутливий елемент пожежного сповіщувача не нормуються. Встановлено, що в першому випадку величина постійної часу пожежних сповіщувачів не визначається, а у другому випадку - здійснюється лише контроль часу спрацьовування пожежних сповіщувачів за допусковим критерієм [1]. Під час проведення об'єктових випробувань в основному реалізується створення теплового впливу на чутливий елемент пожежних сповіщувачів за допомогою невеликих теплових камер. Метою таких випробувань є перевірка працездатності пожежних сповіщувачів без отримання оцінок часу їх спрацьовування та постійної часу [2, 3]. Варто відзначити, що тепловий вплив на чутливий елемент пожежних сповіщувачів може здійснюватись за допомогою і зовнішніх, і внутрішніх джерел тепла. Другий варіант характерний для пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, що базується на використанні ефекту Джоуля-Ленца [4]. У цьому випадку відкриваються нові можливості для підвищення ефективності системи експлуатації пожежних сповіщувачів такого типу. Зниження збитків від пожежі на початковій фазі ефективно може бути здійснено за допомогою автоматичних систем. Ефективність таких систем у першу чергу визначається ступенем досконалості технічних характеристик пожежних сповіщувачів. Але для їх надійної експлуатації відсутні імітаційні моделі із використанням пакета Simulink для процесу визначення часового параметра – постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим

елементом. Також відсутні моделі, в яких можлива реалізація формування теплового впливу внаслідок протікання через нього імпульсів електричного струму.

Мета досліджень

1. З використанням пакета Simulink розробити імітаційні моделі для процесу визначення часового параметра – постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

2. Здійснити дистанційне моделювання, метою якого є визначення оптимальної тривалості одиночних імпульсів електричного струму, за допомогою яких формується тепловий вплив на терморезистивний чутливий елемент пожежних сповіщувачів.

3. За результатами досліджень сформулювати вимоги до початкових умов при визначенні часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

4. Навести послідовність процедур, виконання яких забезпечує реалізацію імпульсного методу визначення часових параметрів – часу спрацьовування і постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Методологія досліджень.

Математичні моделі, що описують теплові процеси в пожежних сповіщувачах із терморезистивним чутливим елементом, створюють можливості для використання пакета візуального програмування Simulink, у якому реалізовані технології Drag-and-Drop [5]. Використання цього пакета для моделювання процесів, які наявні при протіканні імпульсів електричного струму через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача, дасть змогу виявити нові особливості стосовно одержання інформації для обґрунтування методу визначення його часових параметрів [6–8].

На рис. 3 наведено схему імітаційної моделі процесу визначення часового параметра – постійної часу пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом, у якій реалізовано формування теплового впливу із використанням імпульсу електричного струму у вигляді :

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

де : $i(t)$ – часовий параметр,

$1(t - t_0)$ – функції Хевісайда.

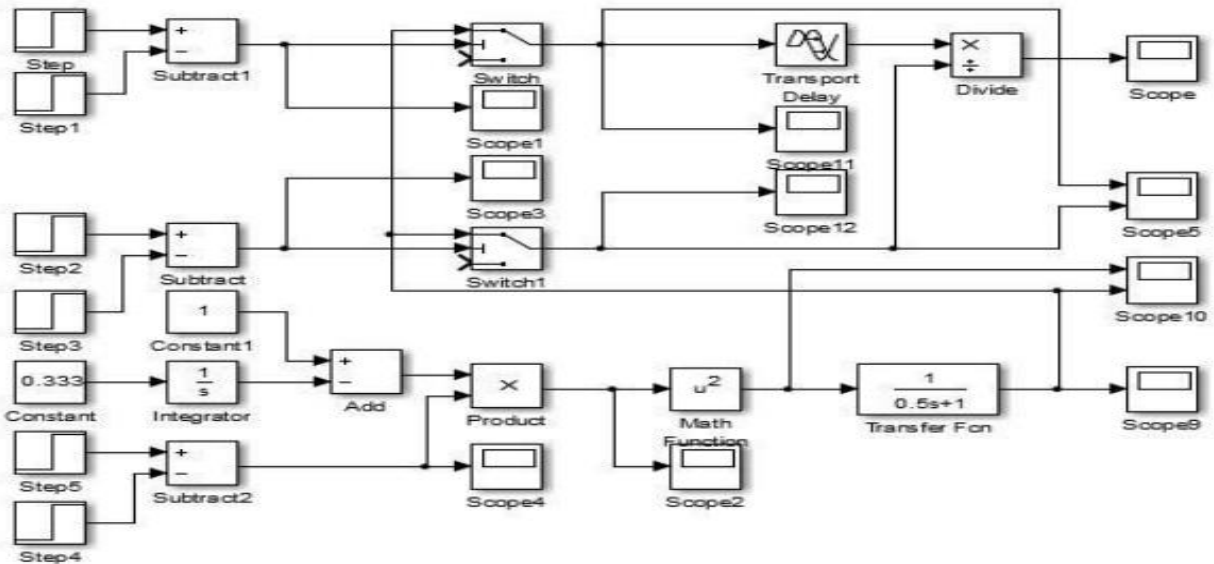


Рисунок 3 – Імітаційна модель процесу визначення часового параметра пожежного сповісвача (імпульс електричного струму)

Терморезистивний чутливий елемент пожежного сповісвача в імітаційній моделі реалізується блоком Transfer Fcn. За допомогою

блоків Constant, Integrator, Trigonometric Function, Product, Step 4, Step 5 та Subtract 2 забезпечується формування імпульсу електричного струму (рис. 4а).

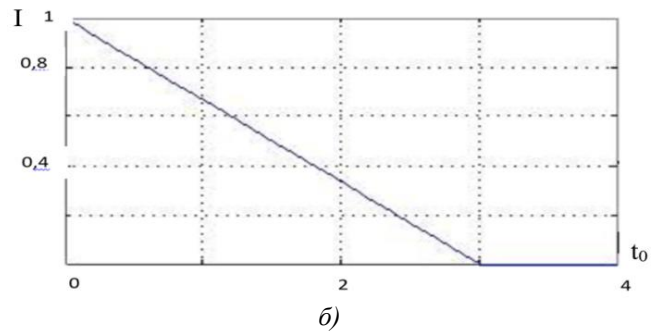
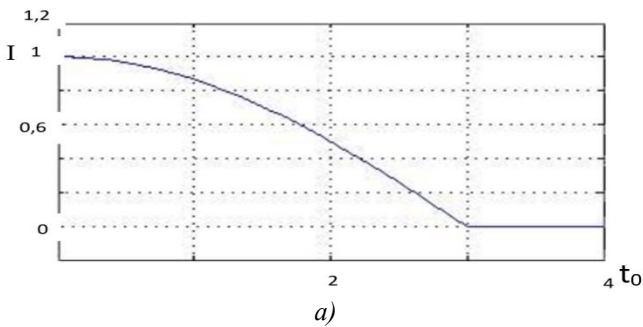


Рисунок 4 – Імпульс електричного струму ($I = 1,0 \text{ A}$, $t_0 = 3,0 \text{ c}$)

Блок Math Funtion забезпечує формування моделі теплового тест-впливу на терморезистивний чутливий елемент

пожежного сповісвача згідно із законом Джоуля-Ленца (див. верхню осцилограму на рис. 5а).

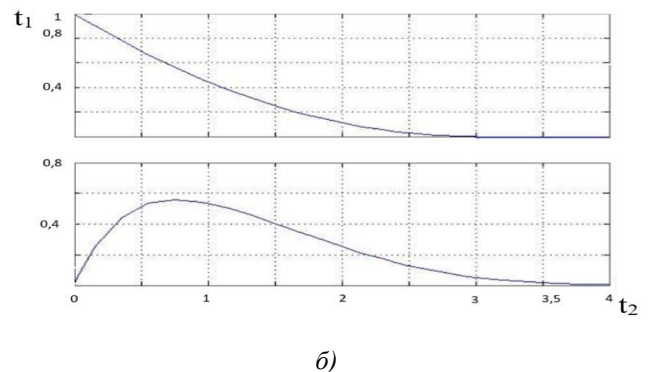
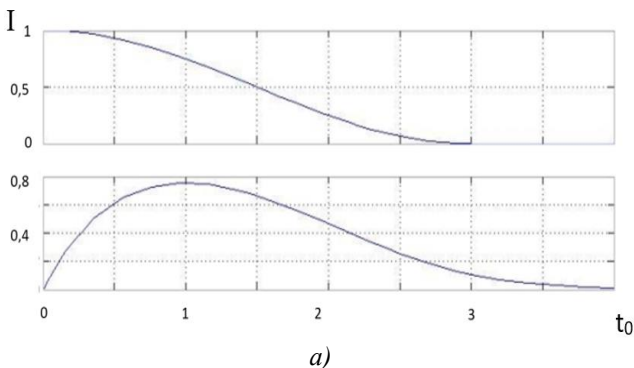


Рисунок 5 – Тест-вплив та реакція терморезистивного чутливого елемента

На нижньому графіку рис. 5а наведено осцилограму реакції терморезистивного чутливого елемента

пожежного сповісвача на теплову дію імпульсу електричного струму з параметрами, що подані на рис. 4а.

За допомогою блоків Step, Step 1 та Subtract 1 на рис.3, забезпечується формування в моменти часу $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$ імпульсів управління. Блоки Switch та Switch 1 забезпечують визначення

відповідно в моменти часу t_1 і t_2 величин $\theta(t_1)$ та $\theta(t_2)$. На рис.6 наведено осцилограми для температур $\theta(t_1)$ та $\theta(t_2)$ терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача.

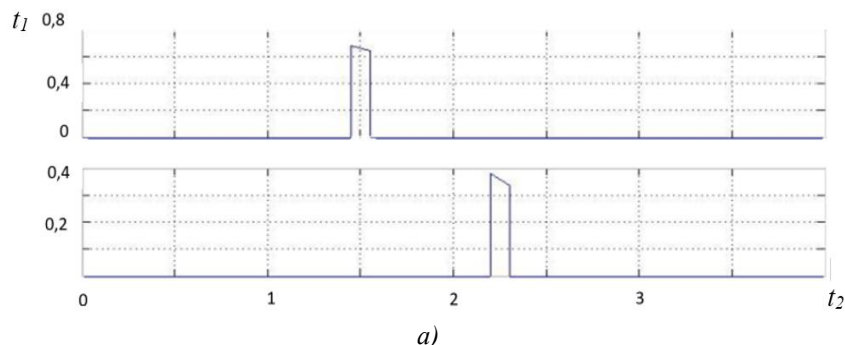


Рисунок 6 – Температура терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача в моменти часу $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$

Блоки Score, Score 1–Score 5, Score 9–Score 12 на рис.3 використовуються для візуалізації процесу визначення часового параметра пожежного сповіщувача.

У цій моделі терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача реалізовано за допомогою блока Transfer Fcn. Формування одиночного імпульсу електричного струму має вигляд :

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

де : $i(t)$ – часовий параметр,

I – tt_0 – амплітуда тривалості електричного струму,

$1(t - t_0)$ – функції Хевісайда та здійснюється за допомогою блоків Constant, Constant 1, Integrator, Add, Product, Step 4, Step 5 та Subtract 2 (рис. 4б).

За допомогою блока Math Funtion забезпечується формування теплового тест-впливу на терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача згідно із законом Джоуля-Ленца. Осцилограму такого тест-впливу наведено на верхньому графіку рис. 5б. У нижній частині рис.5б наведено осцилограму реакції.

Блоки Step, Step 1 та Subtract 1, а також блоки Step 2, Step 3 та Subtract на рис.3, забезпечують формування імпульсів управління в моменти часу $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$. Визначення величин $\theta(t_1)$ та $\theta(t_2)$ – нагріву терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача і моменти часу t_1 і t_2 здійснюється відповідно за допомогою блоків Switch та Switch 1.

Блоки Transport Delay та Divide на схемі, що наведені на рис. 3, забезпечують визначення величини коефіцієнта температуропровідності терморезистивного чутливого елемента α .

Наукова новизна роботи :

– виявлено, що відношення величин температур терморезистивного чутливого елемента

пожежних сповіщувачів у два апріорі заданих моменти часу, які є проявом ефекту Джоуля-Ленца внаслідок протікання по ньому одночасних імпульсів електричного струму, є індиферентним відносно фізичних характеристик такого чутливого елемента та амплітуди імпульсу електричного струму, і це відношення доцільно використовувати як один із двох параметрів у функційній залежності для визначення часового параметра – постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом;

– встановлено, що вплив варіацій температур навколишнього середовища між двома апріорі заданими моментами часу, в які визначається реакція терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів на тепловий вплив імпульсів електричного струму, є мінімальним, якщо їхня форма представляє собою прямокутний трикутник із амплітудою, яка зменшується в часі;

– створено процедуру визначення оптимального значення тривалості імпульсу електричного струму, який використовується для формування теплового впливу на терморезистивний чутливий елемент пожежних сповіщувачів, в основі якої лежить використання розроблених математичних моделей такого чутливого елемента та методів візуального програмування, реалізованих у пакеті Simulink, що дозволило встановити співвідношення між тривалістю імпульсу електричного струму і постійною часу пожежних сповіщувачів;

– обґрунтовано метод визначення часових параметрів – часу спрацьовування та постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, основою якої є використання ефекту Джоуля-Ленца.

Набула подальшого розвитку математична модель терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів, яка представлена у

вигляді передавальної функції інерційної ланки і до коефіцієнта передачі якої в ролі мультиплікативної складової входить постійна часу такого чутливого елемента.

Висновки

1. Розроблено імітаційні моделі пакета Simulink для процесу визначення часового параметра – постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, в яких реалізовано формування теплового впливу внаслідок протікання через нього імпульсів електричного струму у формі чверті косинусоїди та прямокутного трикутника із амплітудою, що зменшується в часі.

2. Здійснено дистанційне моделювання, метою якого було визначення оптимальної тривалості одиночних імпульсів електричного струму, за допомогою яких формується тепловий вплив на терморезистивний чутливий елемент пожежних сповіщувачів.

3. За результатами досліджень сформульовано вимоги до початкових умов при визначенні часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом. Зокрема, як величини, що підлягають вимірюванню, обираються величини температур терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів у два апріорі задані моменти часу. Ці моменти часу обираються такими, що дорівнюють половині та трьом чвертям тривалості імпульсу електричного струму.

4. Наведено послідовність процедур, виконання яких забезпечує реалізацію імпульсного методу визначення часових параметрів – часу спрацьовування і постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

5. Показано, що розроблений метод дає можливість визначати кількісні оцінки часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом в автома-тичному режимі і безпосередньо на об'єкті, що охороняється. Варіації температури навколишнього середовища на інтервалі між вимірюваннями інформаційних параметрів мають найменший вплив на формування параметра, який входить до переліку початкових даних, при використанні імпульсу електричного струму як джерела тепла, що має форму прямокутного трикутника з амплітудою, що зменшується в часі. У цьому випадку величина похибки не перевищує 4,9 %.

6. Оптимальна тривалість імпульсів електричного струму, які використовуються для реалізації ефекту Джоуля-Ленца в терморезистивному чутливому елементі пожежних сповіщувачів, пов'язана з величиною

його часового параметра – постійної часу через коефіцієнт, величина якого лежить в діапазоні 5,0–5,5 с.

Список літератури:

1. Blagojevic M. Smoke and heat detectors arrangement in hallways. URL: <https://www.znrfak.ni.ac.rs/Se-Journal/Archive/SE-WEB%20Journal%20-%20Vol7-2/radovi/04%20Radoje%20Jevtic.pdf>.

2. Абрамов Ю. А., Коврегін В. В., Садковой В. П. Температурные объектовые испытания тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом. Харьков: УГЗУ, 2009. 115 с.

3. Абрамов Ю. А., Гвоздь В. М., Тищенко Е. А. Повышение эффективности обнаружения пожара по температуре. Харьков: НУГЗУ, 2011. 129 с.

4. Спосіб визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів: пат. № 116932 Україна. № 201607780; заявл. 14.07.2016; опубл. 25.05.2018. Бюл. № 10. 5 с.

5. Управление в технических системах с газовым и жидким компонентами / А. П. Губарев, А. В. Узунов, Ю. А. Абрамов и др. Киев: ИСМО, 1997. 288 с.

6. Kushnir A., Kopchak B. and Gavryliuk A. Development of Operation Algorithm of Heat Detector with Variable Response Parameters. 2020 IEEE XVIth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). 2020. P. 154–159. DOI: 10.1109/MEMSTECH49584.2020.9109436

7. Szelmanowski A., Zieja M., Pazur A., Głyda K. Studying the Dynamic Properties of Thermoelectric Fire Detectors in Terms of False Tripping of an Air Fire Suppression System. Zawislak S., Rysiński J. (eds) Engineer of the XXI Century. Mechanisms and Machine Science. 2020. Vol. 70. Springer, Cham. P. 103–120. DOI:

https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_10

8. Kushnir A., Kopchak B. and Gavryliuk A. Operation Algorithm for a Heat Detector Used in Motor Vehicles (June 30, 2021). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. December. Vol. 3, iss. 10 (111). P. 6–18. DOI:

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231894>.

9. Системи пожежної сигналізації. 4.5. Сповіщувачі пожежні, теплові точкові (EN 54-5:2000, ІДТ): ДСТУ EN 54-5:2003 (чинний від 2003-16-12). Київ: Держ. стандарт України, 2004. 162 с.

10. Kozak Ya., Abramov Yu., Basmanov O. Substantiating the pulse method for determining the time parameter of fire detectors with a thermoresistive sensing element. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021.

December. Vol. 6, iss. 5 (114). P. 49–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244235

11. Козак Я. Я. Імпульсний метод визначення часових параметрів теплового пожежного сповіщувача. *Комунальне господарство міст*. 2001. Т. 4, вип. 164. С. 153–157. DOI: 10.33042/2522-1809-2021-4-164-153-157

12. 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

13. Dinh T., Phan H., Qamar A., Woodfield P., Nguyen N. and Dao D. V. Thermoresistive Effect for Advanced Thermal Sensors: Fundamentals, Design Considerations, and Applications. *Journal of Microelectromechanical Systems*. 2017. October. Vol. 26, no. 5. P. 966–986. DOI: 10.1109/JMEMS.2017.2710354

References

1. Blagojevic M. Smoke and heat detectors arrangement in hallways. URL: <https://www.znrfak.ni.ac.rs/Se-Journal/Archive/SE-WEB%20Journal%20-%20Vol7-2/radovi/04%20Radoje%20Jevtic.pdf>.

2. Abramov Yu.A., Kovregin V.V., Sadkovo V.P. Temperature object testing of thermal fire detectors with a thermal resist sensing element. Kharkiv: NUCD, 2009. 115 p.

3. Abramov Yu.A., Gvozd V.M., Tyshchenko E.A. Increasing the fire detection efficiency by temperature. Kharkiv: NUCD, 2011. 129 p.

4. The method of determining the thermal fire detectors' time constant: No. 116932 Ukraine. No. 201607780; statement 14.07.2016; published 05/25/2018. Bul. No. 10. 5 p.

5. Control in technical systems with gas and liquid components / A. P. Gubarev, A. V. Uzunov, Yu. A. Abramov et al. Kyiv: Institute of Content and Teaching Methods, 1997. 288 p.

6. Kushnir A., Kopchak B. and Gavryliuk A. Development of Operation Algorithm of Heat Detector with Variable Response Parameters. 2020 IEEE XVIth International Conference on the

Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). 2020. P. 154–159.

DOI: 10.1109/MEMSTECH49584.2020.9109436

7. Szelmanowski A., Zieja M., Pazur A., Głyda K. Studying the Dynamic Properties of Thermoelectric Fire Detectors in Terms of False Tripping of an Air Fire Suppression System. Zawislak S., Rysiński J. (eds) *Engineer of the XXI Century. Mechanisms and Machine Science*. 2020. Vol. 70. Springer, Cham. P. 103–120. DOI:

https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_10

8. Kushnir A., Kopchak B. and Gavryliuk A. Operation Algorithm for a Heat Detector Used in Motor Vehicles (June 30, 2021). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. December. Vol. 3, iss. 10 (111). P. 6–18. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231894>

9. Fire alarm systems. 4.5 Fire thermal point detectors (EN 54-5:2000, IDT) : SSU EN 54-5:2003 (valid from 2003-16-12). Kyiv : State Standart of Ukraine, 2004. p. 162

10. Kozak Ya., Abramov Yu., Basmanov O. Substantiating the pulse method for determining the time parameter of fire detectors with a thermoresistive sensing element. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. December. Vol. 6, iss. 5 (114). P. 49–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244235

11. Kozak Ya. Impulsive method of determining time parameters of a fire alarm. *Communal economy of cities*. 2001. V. 4, extract 164. P.153-157. DOI: 10.33042/2522-1809-2021-4-164-153-157

12. Kozak Ya. Temperature error while determining the time parameter of a fire detector with a thermoresistive sensitive element. *Communal economy of cities*. 2021. V 6. Extract 166. p. 151-155. DOI: 10.33042/2522-1809-2021-6-166-151-155

13. Dinh T., Phan H., Qamar A., Woodfield P., Nguyen N. and Dao D. V. Thermoresistive Effect for Advanced Thermal Sensors: Fundamentals, Design Considerations, and Applications. *Journal of Microelectromechanical Systems*. 2017. October. Vol. 26, no. 5. P. 966–986. DOI: 10.1109/JMEMS.2017.2710354

© О. Е. Васильєва, Я. Я. Козак,
О. М. Коваль, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 10.03.2023.

Прийнято до публікації 16.05.2023.