

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Козак Ярослав Ярославович

УДК 614.8

ДИСЕРТАЦІЯ

ОБґРУНТУВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ ІЗ ТЕРМОРЕЗИСТИВНИМ ЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ

Спеціальність 261 – пожежна безпека

Галузь знань 21 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Я. Я. Козак

Науковий керівник Васильєва О. Е. доктор технічних наук, доцент

Львів – 2023

АНОТАЦІЯ

Козак Я. Я. Обґрунтування імпульсного методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – пожежна безпека. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2023.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального наукового завдання – обґрунтуванню імпульсного методу визначення часових параметрів – постійної часу та часу спрацьовування – пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Несвоєчасне виявлення пожежі на початковій стадії супроводжується значним розповсюдженням небезпечних факторів пожежі, що може призвести до виникнення загроз для життя та здоров'я людей, значних матеріальних збитків, поширення вогню на великі площі, що, в свою чергу, призводить до ускладнень під час її ліквідації.

Первинним елементом виявлення пожежі є пожежний сповіщувач, з певними технічними характеристиками та параметрами, який є не від'ємною складовою будь-якої системи автоматичної пожежної сигналізації та системи оповіщення. Пожежний сповіщувач залежно від призначення виявляє небезпечні фактори пожежі та здійснює інформування контрольно – приймального приладу, який в свою чергу передає сигнал на пульт цілодобового спостереження з подальшим повідомленням пожежно-рятувальних підрозділів та здійснює оповіщення людей про виникнення пожежі, що сприяє своєчасній евакуації людей з приміщень та можливості ліквідації пожежі на початковій стадії до прибуття пожежно-рятувальних підрозділів, а це суттєво зменшує матеріальні збитки.

Належне функціонування автоматичних систем пожежної сигналізації, зокрема датчиків первинної інформації – пожежних сповіщувачів, визначення їхніх

основних технічних характеристик та їх вдосконалення є невід'ємною складовою пожежної безпеки об'єктів різного призначення.

Тому, метою роботи є вдосконалити визначення технічних характеристик пожежних сповіщувачів із терморезистивним елементом, які орієнтовані на їх реалізацію при об'єктових випробуваннях.

Під час виконання досліджень використовувався комплексний метод, який побудований на аналізі та узагальненні відомих на сьогодні способів випробувань пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, виявлення їх недоліків та розроблення методів їх покращення.

Часові параметри теплових пожежних сповіщувачів пов'язані між собою. Відношення постійної часу пожежного сповіщувача до часу його спрацьовування може становити до 20 % при швидкості зміни температури навколишнього середовища $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$.

Для визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів використовуються випробування, які розділюються на стаціонарні або автономні та оперативні або 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. Показано, що в першому випадку величина постійної часу пожежних сповіщувачів не визначається, а в другому випадку здійснюється лише контроль часу спрацьовування за допусковим критерієм. При проведенні об'єктових випробувань в основному здійснюється тепловий вплив на чутливий елемент пожежних сповіщувачів за допомогою невеликих теплових камер і метою таких випробувань є перевірка працездатності пожежних сповіщувачів без оцінювання їхніх часових параметрів. Показано, що тепловий вплив на чутливий елемент пожежних сповіщувачів може здійснюватись за допомогою як зовнішніх, так і внутрішніх джерел тепла. Другий варіант характерний для пожежних сповіщувачів із терморезистивним елементом і ґрунтується на використанні ефекту Джоуля-

Ленца. У цьому випадку відкриваються нові можливості для підвищення ефективності системи експлуатації пожежних сповіщувачів такого типу.

Теплові процеси в терморезистивному чутливому елементі пожежних сповіщувачів при протіканні через нього електричного струму описуються неоднорідним рівнянням математичної фізики із граничними умовами третього роду. Для вирішення такого диференційного рівняння використовується інтегральне перетворення Ханкеля. Із використанням формули зведення одержано загальний вираз для температури терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів за умови протікання через нього електричного струму без обмежень на його параметри. Цей вираз представлено у вигляді ряду функцій Бесселя, який швидко сходиться і є основою для переходу до інших математичних моделей терморезистивного чутливого елемента. Із використанням інтегрального перетворення Лапласа одержано вираз для передаточної функції такого чутливого елемента і показано, що з похибкою, величина якої не перевищує 4,6 %, вона описується передаточною функцією аперіодичної ланки. Коефіцієнт передачі терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів включає дві мультиплікативні складові, одна з яких є його постійною часу.

У ролі електричного струму, що протікає через терморезистивний чутливий елемент пожежних сповіщувачів, розглядаються одиночні імпульси електричного струму, форма яких представляє чверть синусоїди, чверть косинусоїди та прямокутний трикутник. Із використанням інтегрального перетворення Лапласа одержані математичні моделі для реакції терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів на теплову дію таких одиночних імпульсів електричного струму. Реакція терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів на теплову дію імпульсів електричного струму формалізована у вигляді суперпозиції двох функцій Хевісайда, параметри яких визначаються параметрами імпульсів електричного струму – амплітудою та тривалістю. Розроблений комплекс математичних моделей є основою для створення імпульсного методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Наведено умовні варіанти побудови імпульсного методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів такого типу, в основі якого лежить використання відношення реакцій терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів у два моменти часу на теплову дію імпульсу електричного струму. Показано, що всі варіанти побудови такого методу є інваріантними відносно коефіцієнта, що визначається фізичними параметрами пожежних сповіщувачів і мультиплікативною складовою його коефіцієнта передачі, та амплітуди імпульсу електричного струму. Побудовані математичні моделі і номограми, за допомогою яких визначають часові параметри пожежних сповіщувачів такого типу. Рішення тестових задач свідчить, що похибка визначення постійної часу терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів не перевищує 4,0 %.

Розглянуто вплив зміни температури навколишнього середовища на результат визначення початкових параметрів пожежних сповіщувачів такого типу і показано, що найменші похибки простежуються при використанні імпульсів електричного струму у вигляді чверті косинусоїди та прямокутного трикутника, амплітуда яких зменшується. При зміні температури навколишнього середовища на 2,0 % відповідні похибки становлять 5,3 % та 4,9 %.

Із використанням пакета візуального програмування Simulink створені імітаційні моделі для процесу визначення часового параметра пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом. Проведено імітаційне моделювання, метою якого є визначення оптимальної тривалості одиночних імпульсів електричного струму, за допомогою яких здійснюється тепловий вплив на терморезистивний чутливий елемент пожежних сповіщувачів. Показано, що оптимальна тривалість таких одиночних імпульсів електричного струму пов'язана з величиною постійної часу терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів через коефіцієнт, величина якого лежить в діапазоні 5,0–5,5. Наведена послідовність процедур, виконання яких забезпечує реалізацію імпульсного методу визначення часових параметрів – часу спрацьовування і постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Показано, що метод дозволяє визначати кількісні оцінки часових параметрів – часу спрацювання та постійної часу пожежних сповіщувачів такого типу в автоматичному режимі і безпосередньо на об'єкті, що охороняється.

Для порівняння отриманих результатів було проведено і експериментальне дослідження. Для цього було вибрано об'єкт з відповідними габаритними розмірами та характеристиками, який розташований в с. Черляни Городоцького району Львівської області, підготовлено матеріально-технічну базу об'єкта для проведення дослідження та модельне вогнище за прикладом одного із стандартних осередків горіння, здійснено монтаж автоматичних систем пожежної сигналізації згідно з діючими вимогами.

Дослідження проведені з різними типами пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, які були розміщені на різних висотах. За результатами досліджень встановлено, що максимальна похибка теоретичних результатів з практичними становить 9,7% - для адресних пожежних сповіщувачів та 8% - для не адресних пожежних сповіщувачів.

Таким чином, було отримано наукові результати, що сукупно забезпечують розв'язання наукової задачі із обґрунтування імпульсного методу визначення часових параметрів – часу спрацювання та постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, в основі якого лежить використання ефекту Джоуля-Ленца.

Ключові слова: пожежний сповіщувач, терморезистивний чутливий елемент, протипожежна система захисту, часові параметри, імпульс електричного струму, пожежна безпека, ефект Джоуля-Ленца, метод визначення часових параметрів, система пожежної сигналізації.

Список опублікованих праць за темою дисертації :

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз :

1. Козак, Я. Я. (2021). Імпульсний метод визначення часових параметрів теплового пожежного сповіщувача. *Комунальне господарство міст, том 4, випуск 164*, 166–170.
2. Козак, Я. Я. (2021). Температурна похибка при визначенні часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом. *Комунальне господарство міст, том 6, випуск 166*, 151–155.
3. Васильєва, О. Е., & Козак, Я. Я. (2023). Аналіз методів визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів. *Комунальне господарство міст, том 1, випуск 175*, 136–144.
4. Васильєва, О. Е., Козак, Я. Я. (2023). Теплові процеси терморезистивних чутливих елементів пожежних сповіщувачів. *Український журнал будівництва та архітектури, № 1 (013)*, 22–27.
5. Васильєва, О. Е., Коваль, О. М., Козак Я. Я. (2023). Імітаційна модель процесу визначення часового параметра пожежного сповіщувача. *Пожежна безпека № 42*, 16–22.
6. Васильєва, О. Е., Коваль, О. М., Козак Я. Я. (2023). Експериментальні дослідження процесу визначення часових параметрів пожежного сповіщувача за допомогою імпульсного методу. *«Надзвичайні ситуації : попередження та ліквідація», том 7, № 1*, 7–14

Статті у наукових журналах, що входять до бази даних Scopus :

7. Kozak, Y., Abramov, Y., & Basmanov, O. (2021). Substantiating the pulse method for determining the time parameter of fire detectors with a thermoresistive sensing element. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (114)), 49–55.

Патент на корисну модель :

8. Абрамов Ю.О., Собина В.О., Козак Я.Я., Соколов Д.Л., Демент М.О. (2022) *Пожежний сповіщувач* (Патент України № 150132). Виданий Українським інститутом інтелектуальної власності.

Патент на винахід :

9. Абрамов Ю. О., Собина В. О., Козак Я. Я., Ляшевська О. І., Чумак В. В. (2023) *Спосіб визначення часу спрацювання теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом*. (Патент України № 127441). Виданий Українським інститутом інтелектуальної власності.

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації :

10. Васильєва О.Е., Козак Я.Я. (2023). Імітаційне моделювання теплових процесів у пожежних сповіщувачах із терморезистивним чутливим елементом. Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків. *Матеріали круглого столу (вебінару). Харків: Національний університет цивільного захисту України, (23 лютого 2023), 12–13.*

11. Васильєва О.Е., Коваль О.М., Козак Я.Я. (2023). Ефективні методи визначення параметрів пожежних сповіщувачів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, (20–21 квітня 2023) 239.*

12. Васильєва О.Е., Коваль О.М., Козак Я.Я. (2023). Методика визначення теплової похибки з урахуванням часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, (27 квітня 2023), 140–142.*

ABSTRACT

Kozak Ya.Ya. Substantiation of the impulse method for determining fire detectors' time parameters with a thermal resist sensitive element.

– Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 261 – fire safety. Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2023.

The dissertation is devoted to solving an urgent scientific problem – substantiation of the pulse method for determining fire detectors' time parameters – time constant and response time – with a thermal resist sensitive element.

Failure to detect a fire promptly at the initial stage is accompanied by a significant spread of fire hazards, which can lead to threats to human life and health, significant material damage, and the spread of fire over large areas, which in turn leads to complications in its elimination.

The primary element of fire detection is a fire detector, with certain technical characteristics and parameters, which is an integral part of any automatic fire alarm system and notification system. The fire detector, depending on the purpose, detects dangerous factors of fire and informs the control-receiving device, which in turn transmits a signal to the 24-hour monitoring panel with further notification of fire-rescue units and notifies people about the fire occurrence, which in turn facilitates the timely evacuation of people from the premises and the fire eliminating possibility at the initial stage before the fire-rescue units arrival, which significantly reduces material losses.

Proper functioning of automatic fire alarm systems, in particular primary information sensors-fire detectors, determination of their main technical characteristics and their improvement is an indispensable component in ensuring fire safety of objects of various purposes.

Therefore, the aim of the work is to improve the definition of fire detectors' technical characteristics with a thermal resist sensitive element, which are focused on their implementation during object tests.

In the course of the dissertation research, a comprehensive research method was used, which was based on the analysis and generalization of the currently existing fire

detectors' testing methods with a thermal resist sensitive element, their shortcomings, and the methods development for their improvement.

The time parameters of thermal fire detectors are interrelated. The contribution of the fire detector's time constant to its response time can be up to 20% at an ambient temperature change rate of $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}^0\text{c}^{-1}$.

To determine the fire detectors' time parameters, tests are used, which are divided into stationary or autonomous and operational or object-based. The disadvantage of stationary tests using heat chambers is the asymmetry of airflow and temperature distribution, and the disadvantage of such tests using standard combustion cells is that the parameters of thermal impact on the fire detector sensitive element are not normalized. It is shown that in the first case, the fire detectors' time constant value is not determined, and in the second case, only the control of the response time according to the tolerance criteria is carried out. During the object tests, the thermal effect on the fire detectors' sensitive element is mainly realized using small thermal chambers, and the purpose of such tests is to check the fire detectors performance without obtaining estimates of their time parameters. It has been shown that the thermal effect on the sensitive element of fire detectors can be carried out using both external and internal heat sources. The second option is typical for fire detectors with a thermal resist sensitive element and is based on the Joule–Lenz effect use. In this case, new opportunities are opened to increase the fire detectors' operation system efficiency of this type.

Thermal processes in the thermal resist sensitive element of fire detectors when an electric current flows through it are described by a nonhomogeneous equation of mathematical physics with boundary conditions of the third kind. The Hankel integral transform is used to solve this differential equation. Using the reduction formula, a general expression for the temperature of the fire detectors' thermal resist sensitive element was obtained, provided that an electric current flows through it without restrictions on its parameters. This expression is presented as a series of Bessel functions, which quickly converge and are the basis for the transition to other mathematical models of the thermal resist sensitive element. Using the integral Laplace transform, an expression for the transfer function of such a sensitive element is obtained and it is shown

that with an error not exceeding 4.6%, it is described by the transfer function of the inertial link. The transfer coefficient of the fire detectors' thermal resist sensitive element includes two multiplicative components, one of which is its time constant.

We consider single electric current pulses with the shape of a quarter sine wave, a quarter cosine wave, and a right triangle as the electric current flowing through the thermal resist sensitive element of fire detectors. Using the Laplace integral transformation, mathematical models for the response of the fire detectors' thermal resist sensitive element to the thermal effect of such single electric current pulses are obtained. The reaction of the fire detectors' thermal resist sensitive element to the thermal effect of electric current pulses is formalized as a superposition of two Heaviside functions, the parameters of which are determined by the electric current pulses parameters - amplitude and duration. The developed set of mathematical models is the basis for creating a pulse method for determining the fire detectors' time parameters with a thermal resist sensitive element.

Conditional variants of the pulse method construction for determining the fire detectors' time parameters of this type, based on the use of the reactions ratio of the fire detectors' thermal resist sensitive element at two moments to the thermal effect of an electric current pulse, are presented. It is shown that all variants of constructing such a method are invariant concerning the coefficient determined by the physical parameters of fire detectors, the multiplicative component of its transmission coefficient and the electric current pulse amplitude. Mathematical models and nomograms have been constructed to determine the fire detectors' time parameters of this type. The solution of the test problems shows that the error in time constant determining of the fire detectors' thermal resist sensitive element does not exceed 4.0%.

The influence of changes in ambient temperature on the result of determining the fire detectors' initial parameters of this type is considered and it is shown that the smallest errors are observed when using electric current pulses in the form of a quarter cosine and a right triangle, the amplitude of which decreases. When the ambient temperature changes by 2.0 %, the corresponding errors are 5.3 % and 4.9 %.

Simulation models for the time parameter determining process of fire detectors with a thermal resist sensitive element were created using the Simulink visual programming package. The simulation modeling was carried out to determine the optimal duration of single electric current pulses, which are used to exert thermal effects on the thermal resist sensitive element of fire detectors. It is shown that the optimal duration of such single electric current pulses is related to the value of the fire detectors' thermal resist sensitive element time constant through a coefficient whose value lies in the range of 5.0-5.5. The paper presents a sequence of procedures that ensure the implementation of the pulse method for determining the time parameters - response time and time constant of fire detectors with a thermal resist sensitive element. It is shown that the developed method makes it possible to determine quantitative estimates of the fire detectors' time parameters of this type in automatic mode and directly at the protected object.

An experimental study was conducted to compare the results obtained in the work with the practical ones. To conduct it, we selected an object with appropriate dimensions and characteristics, which is located in the village of Cherliany, Horodok district, Lviv region, prepared the material and technical base of the object for the study, prepared a model fire on the existing standard combustion centers example, and installed automatic fire alarm systems following current requirements.

The studies were conducted with different types of fire detectors with a thermal resist sensitive element, which were placed at different heights. According to the research results, it was found that the maximum theoretical results error with practical ones is 9.7% for addressable fire detectors and 8% for non-addressable fire detectors.

Thus, the work obtained scientific results that collectively provide a solution to the scientific problem of substantiating the pulse method for determining the time parameters - response time and time constant of fire detectors with a thermal resist sensitive element based on the Joule-Lenz effect.

Keywords: fire detector, thermal resist sensitive element, fire protection system, time parameters, electric current pulse, fire safety, Joule-Lenz effect, determining time parameters method, fire alarm system.

**List of scientific works in which the main scientific results of the dissertation
were published:**

**Articles in scientific and specialized publications of Ukraine included in
international scientometric databases:**

1. Kozak Ya.Ya. (2021). Impulse method for determining the thermal fire detector's time parameters. *Communal management of cities, volume 4, issue 164*, 166-170.
2. Kozak Ya.Ya. (2021). Temperature error in determining the fire detector's time parameter with a thermal resist sensitive element. *Communal management of cities, vol. 6, issue 166*, 151-155.
3. Vasylieva O.E., Kozak Ya.Ya. (2023). Analysis of methods for determining thermal fire detectors' time parameters. *Communal management of cities, volume 1, issue 175*, 136-144.
4. Vasylieva O.E., Kozak Ya.Ya. (2023). Thermal processes of fire detectors' thermal resist sensitive elements. *Ukrainian Journal of Construction and Architecture, No. 1 (013)*, 22-27.
5. Vasylieva O.E., Koval O.M., Kozak Ya.Ya. (2023). Simulation model of the fire alarm time parameter determining process. *Fire safety No. 42*, 16-22.
6. Vasylieva O.E., Koval O.M., Kozak Ya.Ya. (2023). Experimental studies of the fire detector's time parameters determining process using the pulse method. Collection of scientific works of the Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine "*Emergency situations: prevention and elimination*", volume 7 No. 1, 7-14

Articles in scientific journals included in the Scopus database:

7. Kozak, Ya., Abramov, Y., Basmanov, O. (2021). Substantiating the pulse method for determining the time parameter of fire detectors with a thermoresistive sensing element. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (114)), 49–55.

Utility model patent:

8. № 150132. Fire detector. Registered in the State Register of Ukraine for Utility Models on May 25, 2022. Bulletin No. 21. Inventors: Abramov Y.O., Sobina V.O., Kozak Ya.Ya., Sokolov D.L., Dement M.O. Issued by the Ukrainian Institute of Intellectual Property.

Invention patent :

9. No. 127441 A method for determining the operational time of thermal fire detectors with a thermal resist sensitive element. The state registration information was published on 08/23/2023, Bulletin No. 34. Inventors: Abramov Y.O., Sobina V.O., Kozak Ya. Ya., Liashevskaya O.I., Chumak V.V. Issued by the Ukrainian Institute of Intellectual Property.

Abstracts certifying the approbation of the dissertation materials:

10. Vasylieva O.E., Kozak Ya.Ya. (2023). Simulation modeling of thermal processes in fire detectors with a thermal resist sensitive element. *Prevention of emergency situations, response and elimination of their consequences. Materials of the round table (webinar). - Kharkiv: National University of Civil Defense of Ukraine, (February 23, 2023), 12-13.*

11. Vasylieva O.E., Koval O.M., Kozak Ya.Ya. (2023). Effective methods of fire detectors' determining parameters. *Problems and prospects of ensuring civil protection: materials of the international scientific and practical conference of young scientists. Kharkiv: NUCDU, (April 20-21, 2023) 239.*

12. Vasylieva O.E., Koval O.M., Kozak Ya.Ya. (2023). The method of the thermal error determining taking into account the fire detector's time parameter with a thermal resist sensitive element. *Theory and practice of fire extinguishing and elimination of emergency situations: Materials of the 14th International Scientific and Practical Conference - Cherkasy: CIFS named after Heroes of Chornobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine, (April 27, 2023), 140-142.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ	18
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ	
ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ.....	27
1.1. Основні технічні характеристики теплових пожежних сповіщувачів.....	27
1.2. Методи визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів, аналіз утримання та хибних спрацювань автоматичних установок пожежної сигналізації.....	34
1.2.1. Автономні випробування теплових пожежних сповіщувачів.....	34
1.2.2. Об'єктові випробування теплових пожежних сповіщувачів.....	39
1.2.3. Аналіз утримання та хибних спрацювань автоматичних установок пожежної сигналізації.....	43
1.3. Методи визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів	50
1.3.1. Визначення постійної часу пожежних сповіщувачів під час автономних випробувань.....	51
1.3.2. Визначення постійної часу пожежних сповіщувачів під час об'єктових випробувань.....	53
1.4. Постановка задачі та особливості її вирішення.....	55
Висновки до першого розділу.....	57
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У	
ТЕРМОРЕЗИСТИВНОМУ ЧУТЛИВОМУ ЕЛЕМЕНТІ	
ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА.....	59
2.1. Модель у класі рівнянь математичної фізики.....	59
2.2. Моделі в класі передаточних функцій.....	63
Висновки до другого розділу.....	67
РОЗДІЛ 3. ТЕПЛОВА ДІЯ ІМПУЛЬСІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА	
ТЕРМОРЕЗИСТИВНИЙ ЧУТЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ ПОЖЕЖНОГО	
СПОВІЩУВАЧА.....	69
3.1. Класифікація одиночних імпульсів електричного струму.....	69

3.2. Теплова дія імпульсу електричного струму у вигляді чверті синусоїди.....	69
3.3. Теплова дія імпульсу електричного струму у вигляді чверті косинусоїди....	73
3.4. Теплова дія імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника ($di/dt > 0$).....	77
3.5. Теплова дія імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника ($di/dt < 0$).....	80
Висновки до третього розділу.....	83
РОЗДІЛ 4. МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВОГО ПАРАМЕТРА ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА У ВИГЛЯДІ ЙОГО ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ.....	85
4.1. Умови та варіанти побудови методу визначення постійної часу пожежного сповіщувача.....	85
4.2. Особливості моделей з використанням одиночного імпульсу електричного струму у вигляді чверті синусоїди.....	86
4.3. Особливості моделей з використанням одиночного імпульсу електричного струму у вигляді чверті косинусоїди.....	88
4.4. Особливості моделей з використанням одиночного імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника ($di/dt > 0$).....	90
4.5. Особливості моделей з використанням одиночного імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника ($di/dt < 0$).....	91
4.6. Особливості визначення постійної часу пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом.....	93
4.7. Теплові похибки при визначенні часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом.....	94
Висновки до четвертого розділу.....	102
РОЗДІЛ 5. ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ ІЗ ТЕРМОРЕЗИСТИВНИМ ЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ ТА ЙОГО ІМІТАЦІЙНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ.....	104

5.1. Імітаційна модель процесу визначення часового параметра пожежного сповіщувача.....	104
5.2. Імітаційне моделювання теплових процесів у пожежних сповіщувачах із терморезистивним чутливим елементом.....	109
5.3. Метод визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.....	114
5.4. Експериментальне дослідження процесу визначення часових параметрів пожежного сповіщувача з терморезистивним чутливим елементом	118
5.4.1. Постановка задачі та її розв’язання.....	118
5.4.2. Вибір об’єкта для проведення експериментального дослідження.....	119
5.4.3. Експериментальне дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.....	120
5.4.4. Результати експериментальних досліджень.....	128
5.4.5. Порівняння результатів експериментальних досліджень з результатами, отриманими в роботі.....	129
Висновки до п’ятого розділу.....	131
ВИСНОВКИ.....	133
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	135
ДОДАТКИ.....	145
Додаток А. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	146
Додаток Б. Акт про виконання експериментальних досліджень.....	151
Додаток В. Інформація про патенти.....	156
Додаток Г. Список опублікованих праць за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	169

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

СПС	—	система пожежної сигналізації
ППКП	—	прилад приймально-контрольний пожежний
ШС	—	шлейф пожежної сигналізації
АПС	—	адресний пожежний сповіщувач

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Одним із актуальних методів, що забезпечують пожежну безпеку об'єкта та знижують втрати 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 їхньої системи експлуатації.

Одним із різновидів пожежних сповіщувачів є теплові пожежні сповіщувачі, які є і найбільш поширеними. Це обумовлено простотою їх конструкції, невибагливістю в обслуговуванні та низькою вартістю. Теплові пожежні сповіщувачі є найбільш ефективними у тих випадках, коли на початковій стадії очікується значна потужність вогнища пожежі з інтенсивним виділенням теплового потоку, коли поширення диму ускладнене, і де застосування інших типів сповіщувачів можуть призвести до їх хибних спрацювань, наприклад, через заповишеність приміщення, в підземних паркінгах автомобілів.

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, А. Szelmanowski, G. Yoon, H. Jang, V. Sharma, Y. Liming, R. Sowak.

Експлуатація теплових пожежних сповіщувачів передбачає визначення їхніх основних технічних характеристик, що здійснюється шляхом їх випробувань. Але якщо така часова характеристика як час спрацювання 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.

Тому актуальним на сьогодні 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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до основних завдань Концепції наукової діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності у рамках науково-дослідної роботи «Обґрунтування імпульсного методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом» (державний реєстраційний номер 0123U102042), в якій здобувач був виконавцем.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є обґрунтування імпульсного методу визначення часових параметрів – часу спрацьовування та постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, в основі якого лежить використання ефекту Джоуля-Ленца і реалізація якого забезпечується при протіканні одиночних імпульсів електричного струму непрямокутної форми через терморезистивний чутливий елемент пожежних сповіщувачів.

Для досягнення задекларованої мети поставлено до розв'язку такі завдання :

- створити математичні моделі, що описують теплові процеси в терморезистивному чутливому елементі пожежних сповіщувачів внаслідок теплової дії електричного струму, який протікає через нього, та оцінити параметри таких моделей;

- стосовно імпульсів електричного струму непрямокутної форми - розробити математичні моделі, що описують реакцію терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів на їх теплову дію, та сформулювати варіанти алгоритмів для реалізації методу визначення його постійної часу;

- оцінити вплив варіацій температури навколишнього середовища на процес визначення часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом та обґрунтувати вибір варіанта алгоритму для реалізації методу його визначення;

- із використанням пакета візуального програмування Simulink створити імітаційні моделі для визначення часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом та за їх допомогою обґрунтувати вибір початкових даних для реалізації методу його визначення;

- розробити алгоритм для реалізації імпульсного методу визначення часових параметрів – часу спрацьовування та постійної часу теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, і представити його словесну інтерпретацію.

Об’єкт дослідження – теплові процеси в пожежних сповіщувачах із терморезистивним чутливим елементом, які обумовлені проявом ефекту Джоуля-Ленца.

Предмет дослідження – часові параметри пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Методи досліджень. У роботі використано: методи розв’язання рівнянь математичної фізики, що ґрунтуються на використанні інтегрального перетворення Ханкеля, методи інтегративного перетворення Лапласа при визначенні реакцій терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на тепловий вплив одиночних імпульсів електричного струму, а також методи імітаційного моделювання із використанням пакета візуального програмування Simulink.

Наукова новизна одержаних результатів полягає :

Вперше:

- виявлено, що відношення величин температур терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів у два заданих моменти часу, які є проявом ефекту Джоуля-Ленца внаслідок протікання по ньому одночасних імпульсів електричного струму, є індіферентним до 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 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;

- вдосконалено метод визначення часових параметрів – часу спрацювання 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 передаточної функції аперіодичної ланки і до коефіцієнта передачі якої в ролі мультиплікативної складової входить постійна часу такого чутливого елемента.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що імпульсний метод визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом є основою для ефективного розв’язування прикладних задач до автоматизації контролю їх технічного стану безпосередньо на об’єктах, що охороняються. Такий контроль технічного стану пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом дозволяє одержувати оцінки їхніх часових параметрів – постійної часу та часу спрацювання.

Методика визначення часових параметрів, часу спрацювання та постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом

застосовується працівниками наглядово-профілактичної діяльності управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській ТГ ГУ ДСНС України у Львівській області для оцінювання наглядово-профілактичної роботи із обстеження об'єктів на території Львівської області.

На курсах навчальних дисциплін «Методологія та організація наукових досліджень і теорія інженерного експерименту» використовуються методи визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом та імітаційні моделі які реалізовані в пакеті візуального програмування Simuling.

Для оцінювання ефективності автоматичних систем протипожежного захисту, під час проведення вогневих випробувань, ТзОВ «Науково-випробувальний центр «Євростандарт» використовує імпульсний метод визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати одержані автором особисто та полягають в самостійному аналізі вітчизняних та закордонних літературних джерел, формуванні мети роботи, задач дисертаційного дослідження, об'єкта та предмета дослідження.

Автор брав участь у роботах, опублікованих самостійно та у співавторстві. У роботі [1] яка виконана самостійно, автору належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, а також аналіз особливостей її вирішення; у роботі [2] яка виконана самостійно, визначена температурна похибка пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом та одержано вираз, за допомогою якого під час проведення випробувань визначається часовий параметр пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом; у роботі [3] проаналізовані методи визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів; у роботі [4] розглянуто теплові процеси в терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача внаслідок протікання через нього одиночних імпульсів електричного струму та одержано загальний вираз для температури терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача, що

дало змогу отримувати його основні технічні характеристики та стало основою для переходу до інших його математичних описів; у роботі [5] розроблено імітаційні моделі з метою визначення часового параметра – постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, в яких реалізовано формування теплового впливу внаслідок протікання через нього імпульсів електричного струму. 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; у роботі [6] проведено експериментальні дослідження процесу визначення часових параметрів пожежного сповіщувача та встановлено залежність часу спрацювання різних типів сповіщувачів; у роботі [7] розроблено математичний опис теплових процесів, що мають місце в терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача, а також розроблено метод визначення часового параметра таких пожежних сповіщувачів; у патенті на корисну модель [8] представлено формулу корисної моделі пожежного сповіщувача, що містить терморезистивний чутливий елемент, джерело електричного струму, ключі, блок управління, обчислювач та зв'язки, що ними обумовлені, який відрізняється тим, що додатково введено пристрій ділення і пристрій порівняння, вихід якого з'єднаний із входом блока управління, один вихід якого з'єднаний із другим входом пристрою порівняння, перший вхід якого з'єднаний із виходом обчислювача, вхід якого з'єднаний із виходом пристрою ділення, при цьому його перший вхід з'єднаний із виходом третього ключа, другий вхід пристрою ділення з'єднаний із виходом четвертого ключа, входи другого, третього та четвертого ключів з'єднані із виходом терморезистивного чутливого елемента, вхід якого з'єднаний із виходом першого ключа; в патенті на винахід [9] представлено спосіб визначення часу спрацювання теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом. Спосіб полягає в тому, що через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача пропускають імпульс електричного струму у вигляді прямокутного трикутника із спадаючим по величині струмом, вимірюють реакцію терморезистивного чутливого елемента на

теплову дію електричного струму в моменти часу, що дорівнюють половині та трьом чвертям тривалості імпульсу електричного струму, визначають відношення результатів цих вимірів, а час спрацьовування теплового пожежного сповіщувача визначають за формулою. Технічний результат: підвищення точності визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на доповідях, наукових семінарах та науково-технічних радах Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також науково-практичних конференціях : матеріали круглого столу (вебінару) : «Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків». Національний університет цивільного захисту України, (Харків, 23 лютого 2023), Імітаційне моделювання теплових процесів у пожежних сповіщувачах із терморезистивним чутливим елементом; Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених: «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Національний університет цивільного захисту України. (Харків, 20-21 квітня 2023). Ефективні методи визначення параметрів пожежних сповіщувачів; Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції : «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій». Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України (Черкаси, 27 квітня 2023р.) Методика визначення теплової похибки з урахуванням часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 7 наукових праць, з яких 6 статей у виданнях, включених МОН України до переліку фахових, в тому числі 1 стаття у науковому журналі, що входить до бази даних Scopus та 3 тези доповідей на конференціях. Крім того, одержано патент України на корисну модель та патент на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та 5 додатків.

Загальний об'єм дисертації становить 172 сторінки та включає 68 рисунків, 16 таблиць та 105 джерел використаної літератури.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

1.1. Основні технічні характеристики теплових пожежних сповіщувачів

Для побудови теплових пожежних сповіщувачів використовуються різні ефекти та явища [1-6]:

- ефект пам'яті форми;
- ефект Джоуля-Ленца;
- явище Томпсона і Зеєбека;
- явище романівського розсіювання тощо.

Пожежний сповіщувач — технічний пристрій, призначений для формування сигналу в разі виникнення ознак горіння, який спрацьовує під впливом тепла [7], та є невід'ємною складовою автоматичної системи пожежної сигналізації (СПС), яка забезпечує протипожежний захист об'єкта, що безпосередньо впливає на пожежну безпеку об'єкта в цілому.

Зовнішній вигляд теплового пожежного сповіщувача, розташування терморезистивного чутливого елемента, показані на рис.1.1 на прикладі сповіщувача неадресного типу ТПТ-3.



Рисунок 1.1 – Тепловий пожежний сповіщувач ТПТ-3:

а) вигляд зверху, б) вигляд знизу, в) розташування терморезистивного чутливого елемента (фото автора)

Пожежні сповіщувачі типу ТПТ-3 широко розповсюджені через нескладну будову, відносно низьку вартість та простоту в обслуговуванні. Конструктивна схема теплового сповіщувача на прикладі ТПТ-3 [8] та його будова показані на рис. 1.2, 1.3

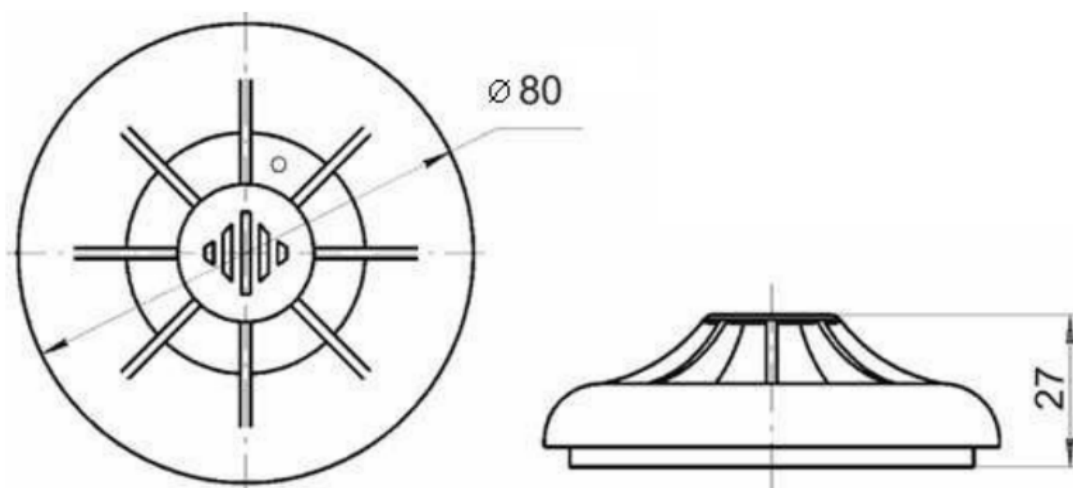


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема теплового пожежного сповіщувача ТПТ-3[8]

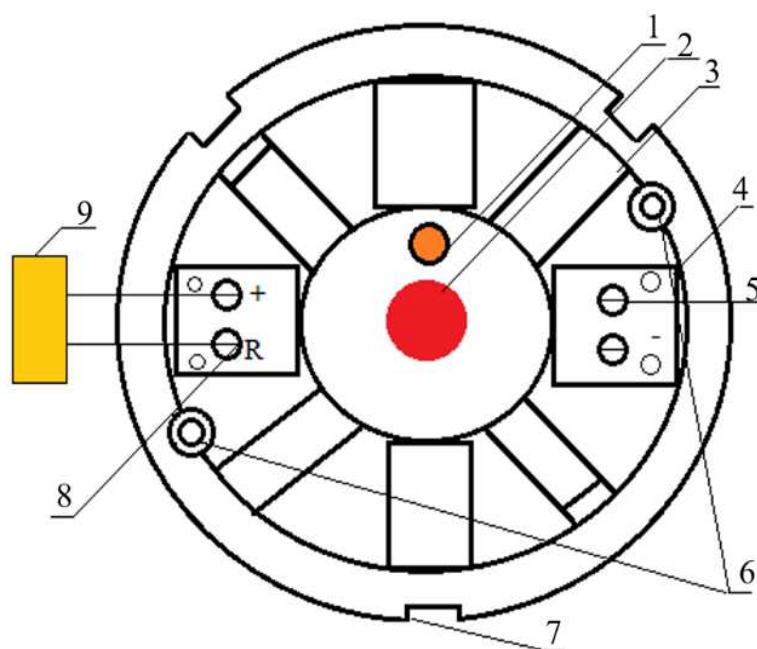


Рисунок 1.3 – Будова теплового пожежного сповіщувача ТПТ-3
1 – індикатор; 2 – терморезистивний чутливий елемент; 3 – пази для провідників ШС; 4 – друкована плата; 5 – місце під'єднання шлейфа сигналізації - ; 6 – монтажні отвори; 7 – паз кришки; 8 – місце під'єднання шлейфа сигналізації +; 9 – обмежувальний резистор

В додатку А таблиці А.1 [9] наведено перелік однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню системами пожежної сигналізації (СПС) та тип системи передавання тривожних сповіщень. Залежно від функціонального призначення об'єктів, площі приміщень, розмірів, типу виробництва, складування, та кількості людей визначається тип компонентів автоматичних систем протипожежного захисту (адресних та неадресних).

Одним з поширених теплових адресних пожежних сповіщувачів (АПС) є сповіщувач СПТТА [10]

Зовнішній вигляд теплового адресного пожежного сповіщувача (АПС) типу СПТТА, розташування терморезистивного чутливого елемента, показані на рис.1.3

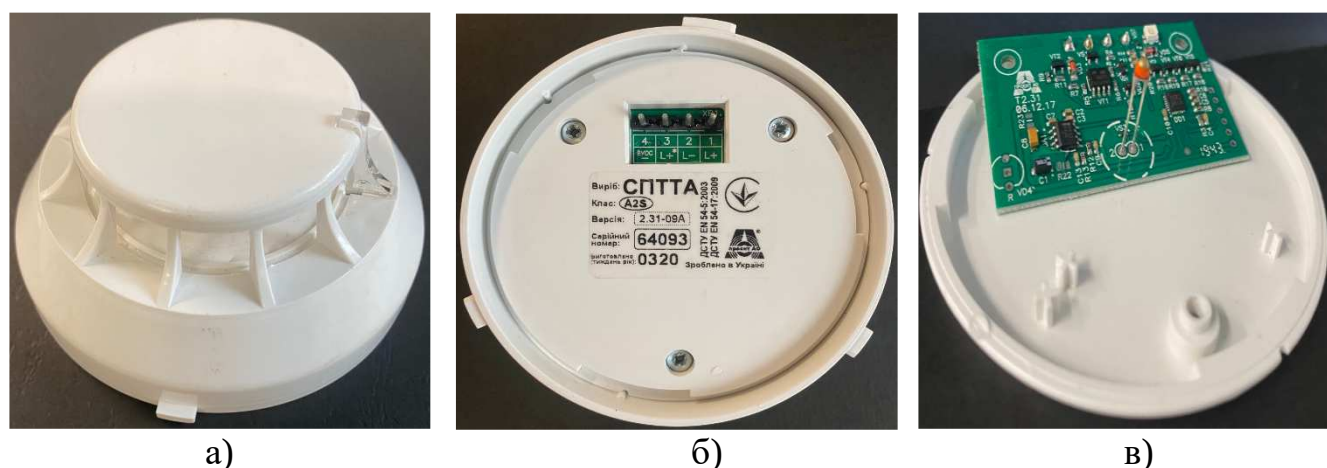


Рисунок 1.4 – Тепловий пожежний сповіщувач СПТТА :

а) вигляд зверху, б) вигляд з низу, в) розташування терморезистивного чутливого елемента (фото автора)

Теплові АПС широко застосовуються в торговельних центрах, критих речових ринках, магазинах, приміщеннях ярмарок при загальній площі для одноповерхових будівель 3500 м², двоповерхових з площею понад 3500 м², триповерхові та вище не залежно від площі при загальній площі поверху понад 1000 м² [9].

Конструктивна схема теплового АПС на прикладі сповіщувача СПТТА та його будова [10] показані на рис. 1.5.

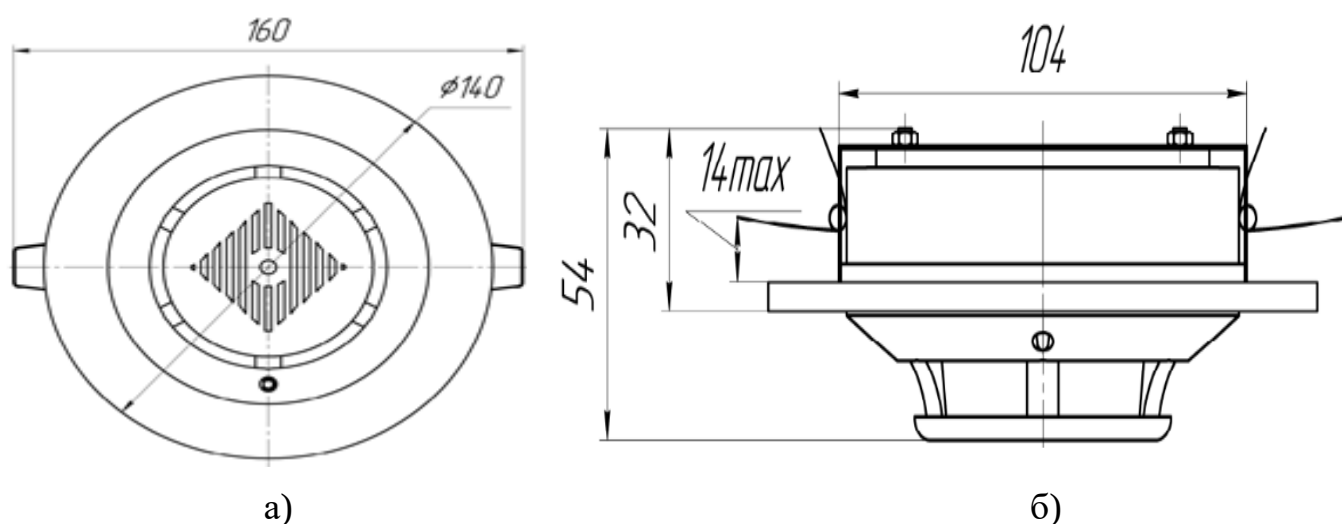


Рисунок 1.5 – Конструктивна схема теплового пожежного сповіщувача СПТТА [10]: а) вигляд зверху, б) вигляд збоку

Класифікація теплових пожежних сповіщувачів наведена в [11-14]. Варто зазначити, що серед теплових пожежних сповіщувачів найбільш поширені сповіщувачі максимального типу [15,16]. Їх кількість становить приблизно 90 % від загальної кількості теплових пожежних сповіщувачів, що обумовлено простотою схемної реалізації та конструктивного виконання, простою технологією виготовлення та низькою вартістю [17]. Зокрема, до 77 % технологічних ділянок та приміщень АЕС із реакторами ВВЕР-1000 оснащені тепловими пожежними сповіщувачами такого типу, а АЕС із реактивними РБМК оснащені сповіщувачами максимального типу на 74 % [18].

Перелік технічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів наведено в [11-14,17]. До основних технічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів, які нормуються згідно з EN 54-5 [11], належать:

- номінальна температура спрацьовування $\theta_{\text{ном}}$;
- час спрацьовування t_c ;
- постійна часу сповіщувача τ .

Час спрацьовування і постійна часу є часовими параметрами (характеристиками) теплових пожежних сповіщувачів.

Величина номінальної температури спрацьовування залежно від класу теплового пожежного сповіщувача лежить в діапазоні (54–160)⁰С (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Номінальна температура спрацьовування

Клас сповіщувача	Температура, °С		Температура спрацьовування, °С	
	нормальна	максимальна	мінімальна	максимальна
A1	25	50	54	65
A2	25	50	54	70
B	40	65	69	85
C	55	80	84	100
D	70	95	99	115
E	85	110	114	130
F	100	125	129	145
G	115	140	144	160

У табл. 1.2 наведено норми часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів. Час спрацьовування сповіщувачів нормується залежно від швидкості зміни температури a , яка може набувати значень (0,017; 0,05; 0,083; 0,167; 0,33; 0,5)⁰Сс⁻¹. У табл. 1.2 – t_{CH} , t_{CB} – нижня та верхня границі часу спрацьовування теплового пожежного сповіщувача відповідно. Час спрацьовування визначається проміжком часу від початку теплового впливу на сповіщувач до його спрацьовування. Цей час включає в себе час прогрівання навколишнього середовища до температури спрацьовування та час прогрівання самого терморезистивного чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача.

Таблиця 1.2

Норми часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів

Швидкість зміни температури a , ⁰ Сс ⁻¹	Сповіщувачі класу A1		Сповіщувачі класу A2, B, C, D, E, F, G	
	t_{CH} , с	t_{CB} , с	t_{CH} , с	t_{CB} , с
1	2	3	4	5

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
0,017	1740	2420	1740	2740
0,05	433	820	433	960
0,083	249	500	249	600
0,167	60	260	120	330
0,33	30	140	60	193
0,5	20	100	40	145

Варто зазначити, що діапазон можливих значень часу спрацьовування пожежних сповіщувачів є достатньо широким. Зокрема, для сповіщувачів класу А1 відношення $t_{CB} t_{CH}^{-1}$ становить 1,4–5,0, а для сповіщувачів інших класів це відношення становить 1,6–3,6 для діапазону зміни швидкості температури $a = (0,017–0,5)^{\circ}\text{Cc}^{-1}$.

Величина іншого часового параметра теплових пожежних сповіщувачів постійної часу нормується стандартом EN 54 [11]. Для сповіщувачів класу А1 $\tau \leq 20$ с, а для сповіщувачів інших класів $\tau \leq 60$ с.

Технічні характеристики теплових пожежних сповіщувачів пов'язані між собою.

Якщо врахувати, що час спрацьовування t_c пожежних сповіщувачів нормується при лінійному законі зміни температури, тобто

$$T(t) = T_0 + at, \quad (1.1)$$

де T_0 – початкова температура, то дійсним буде рівняння

$$\theta(t_c) - \theta_c = 0, \quad (1.2)$$

де $\theta(t)$ – температура чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача.

Рівняння (1.2) можна переписати так:

$$L^{-1}[W(p)T(p)]_{t=t_c} - \theta_c = 0, \quad (1.3)$$

де L^{-1} – оператор зворотного перетворення Лапласа;

$W(p)$ – передаточна функція чутливого елемента пожежного сповіщувача;

$T(p)$ – перетворення Лапласа від функції (1.1).

Якщо врахувати, що [5]:

$$W(p) = (\tau p + 1)^{-1}, \quad (1.4)$$

то відповідно до (1.1) – (1.3) одержимо

$$\theta_c = T_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{t_c}{\tau}\right) \right] + a[t_c - \tau + \tau \exp\left(-\frac{t_c}{\tau}\right)]. \quad (1.5)$$

При $t_c \geq 3\tau$ із (1.5) випливає співвідношення між технічними характеристиками теплових пожежних сповіщувачів

$$t_c = (\theta_c - T_0)a^{-1} + \tau. \quad (1.6)$$

Аналіз виразу (1.6) свідчить, що із ростом швидкості зміни температури навколишнього середовища зростає вплив величини часового параметра – постійної часу на величину часу спрацьовування пожежного сповіщувача. Зокрема, для теплових пожежних сповіщувачів класу А1 при $a = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}\text{s}^{-1}$ внесок часового параметра τ до величини часу спрацьовування пожежного сповіщувача може становити 20 %. Якщо врахувати, що на початковій стадії пожежі величина швидкості зміни температури може досягати $(0,5\text{--}1,2)^\circ\text{C}\text{s}^{-1}$, а при пожежах на об'єктах нафтопереробної та хімічної промисловості величина швидкості зміни температури може досягати $3,0^\circ\text{C}\text{s}^{-1}$ [19–21], то при використанні теплових пожежних сповіщувачів класу А1 внесок величини часового параметра τ до величини часу спрацьовування може досягати (60–150) %.

У [22] із використанням методів теорії планування експерименту одержано регресивні залежності для часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів, у яких факторами є:

- початкова температура x_1 ;
- швидкість зміни температури x_2 ;
- температура спрацьовування x_3 ;
- постійна часу сповіщувача x_4 .

Залежності, одержані для $T_0 = 25^\circ\text{C}$:

$$a = (0,017\text{--}0,5)^\circ\text{C}\text{s}^{-1}; \quad \theta_c = (54\text{--}160)^\circ\text{C}; \quad \tau = (10\text{--}80) \text{ с}.$$

Наприклад, при $T_0 = 25^\circ\text{C}$; $a = 0,017^\circ\text{C}\text{s}^{-1}$; $\theta_c = 54^\circ\text{C}$; $\tau = 10 \text{ с}$, регресійна модель має вигляд:

$$t_c = 1740 - 317x_1 - 388x_2 + 804x_3 - 177x_4. \quad (1.7)$$

Із (1.7) випливає, що внесок величини постійної часу теплового пожежного сповіщувача до величини часу його спрацювання становить 10 %.

1.2. Методи визначення часу спрацювання теплових пожежних сповіщувачів та аналіз хибних спрацювань автоматичних систем пожежної сигналізації

Час спрацювання теплових пожежних сповіщувачів визначається під час їх випробувань. Усі випробування теплових пожежних сповіщувачів можна розділити на дві групи:

- стаціонарні [11,23] або автономні [17,25];
- оперативні [24,25] або об'єктові.

1.2.1. Автономні випробування теплових пожежних сповіщувачів

При проведенні автономних випробувань теплових пожежних сповіщувачів тепловий вплив формується за допомогою теплової камери [8,24] або стандартних осередків горіння [17,25]. Схема теплової камери наведена на рис. 1.6.

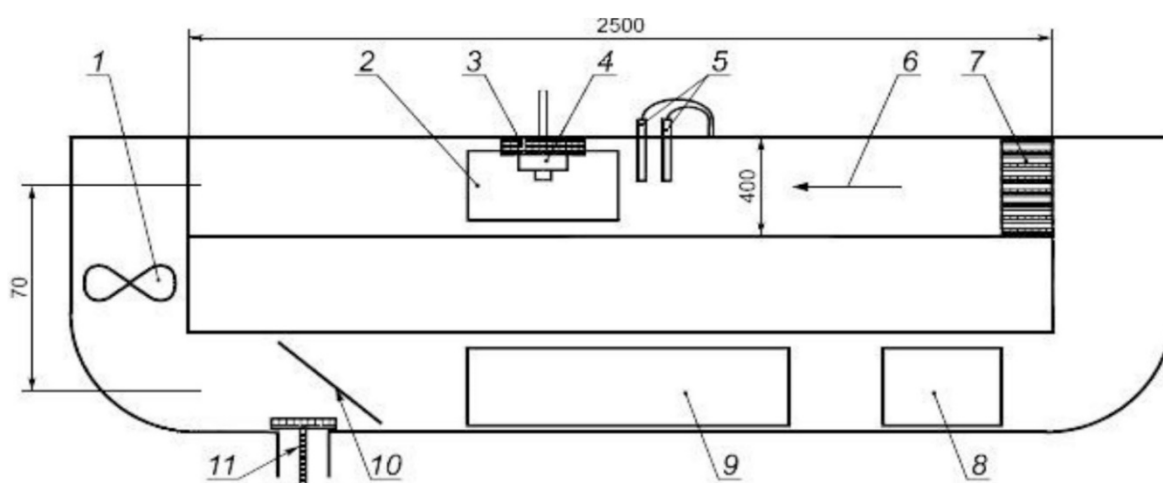


Рисунок 1.6 – Схема теплової камери [25] :

1 – вентилятор з електричним двигуном; 2 – кришка відсіку для установки теплового пожежного сповіщувача зі скляним вікном; 3 – пластина з поворотним

пристроєм для установки теплового пожежного сповіщувача; 4 – тепловий пожежний сповіщувач, який випробовується; 5 – вимірювачі температури та швидкості потоку повітря; 6 – напрям потоку повітря; 7 – мінералізатор; 8 – кришка для установки холодильного агрегата; 9 – відсік нагрівача; 10 – регулятор швидкості потоку повітря; 11 – отвір для вентиляції

У тепловій камері здійснюється зміна температури в діапазоні $(-10-200)^{\circ}\text{C}$. Величина швидкості зростання температури лежить у діапазоні $(0,003-0,5)^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$, а циркуляція повітря здійснюється із швидкістю $(0,8 \pm 0,1) \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Похибка формування температури становить $\pm 2\text{K}$, а похибка вимірювання часу спрацювання теплового пожежного сповіщувача становить $\pm 1,0 \text{ с}$. Допустимі значення похибок інших параметрів становлять $\pm 5 \%$. Контрольно-приймальні прилади забезпечують здійснення вимірювання і управління необхідними значеннями температури, її підвищення швидкості, а також швидкості повітряного потоку в безпосередній близькості від теплового пожежного сповіщувача, який випробовується.

За допомогою теплової камери здійснюється визначення одного часового параметра – часу спрацювання теплового пожежного сповіщувача. Цей часовий параметр вимірюється в момент досягнення температури чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача температури його спрацювання. Як тест-сигнали при цьому використовуються сигнали, які описуються виразом (1.1) при шести фіксованих величинах швидкості його зміни a . Величини цих швидкостей наведено в табл. 1.2 [11].

Недоліком такого методу визначення параметра теплового пожежного сповіщувача є несиметричний розподіл повітряного потоку і температури в перерізі корпусу теплової камери, що обумовлено різницею кутових швидкостей повітряного потоку та нерівномірністю тепловіддачі стінки теплової камери. Також контакт, який створюється повітряним тепловим потоком зі стінкою корпусу теплової камери, що безпосередньо перебуває в прямому контакті з навколишнім середовищем,

зумовлює появу високої різниці температури потоку від стінки корпусу до його середини в зоні проведення вимірювань.

Стандартні осередки горіння підрозділяють на шість типів [17;25], які позначають TF-1, TF-2, TF-3, TF-4, TF-5, TF-6. Типи горіння та їхні якісні характеристики (інтенсивність тепловиділення, потік, що піднімається, наявність та ступінь задимлення) наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Характеристики стандартних осередків горіння

Осередок горіння	Тип горіння	Якісні характеристики		
		Інтенсивність тепловиділення	Потік, що підіймається	Дим
TF-1	Відкрите горіння деревини	Висока	Сильний	+
TF-2	Піролізне тління деревини	Дуже незначна	Слабкий	+
TF-3	Тління бавовни	Дуже незначна	Дуже слабкий	+
TF-4	Горіння полімерних матеріалів	Незначна	Сильний	+
TF-5	Горіння легкозаймистої рідини з виділенням диму	Висока	Сильний	+
TF-6	Горіння легкозаймистої рідини	Висока	Сильний	-

Для випробування теплових пожежних сповіщувачів використовуюся три стандартні осередки пожежі : TF-1, TF-5, TF-6.

Випробуванню піддають не менше чотирьох пожежних сповіщувачів кожного типу. Випробування теплових пожежних сповіщувачів здійснюють в приміщенні розмірами : 10 ± 1 м x 7 ± 1 м та висотою $4,0 \pm 0,2$ м. Стеля приміщення горизонтальна, без виступів. Стеля, підлога та стіни повинні бути оздоблені не горючими матеріалами. Стіни, підлога та стеля мають бути виконані з негорючих матеріалів [25].

Для проведення випробувань теплових пожежних сповіщувачів в приміщенні встановлюються такі кліматичні умови: відносна вологість від 30% до 80%, атмосферний тиск від 98 до 104 кПа, температура навколишнього повітря від 18 °С до 28 °С, концентрація продуктів горіння $<0,05$, оптична щільність менше 0,02 дБ/м.

Стандартний осередок пожежі TF-1 складається з 70 букових брусків деревини розміром 250x20x10 мм кожен, які покладені у 7 шарів на підставки 500x500 мм. Його підпалюють з використанням 5 мл спирту в посудині діаметром 50 мм, яка встановлена в центрі підстави штабеля. При проведенні випробовування час спрацьовування теплового пожежного сповіщувача має бути не більшим ніж 370 с.

Під час випробувань за допомогою стандартного осередку пожежі TF-5 використовують 650 г н-гептану, налитого в квадратний сталевий піддон розмірами 330x330x50 мм, який підпалюють відкритим полум'ям або іскровим розрядом. Випробування проводять в приміщенні площею не менше 70 м² та висотою 4 м. В центрі приміщення на підлозі розташовують тестовий осередок пожежі, а сповіщувачі, які випробовуються, та контрольно-вимірювальні прилади (вимірювач відносної оптичної щільності середовища) встановлюють на стельовому перекритті по колу на відстані 3 м від його центра. При цьому способі випробування за 120-240 с спалюється 0,65 кг суміші н-гептану. Висота відкритого полум'я при проведенні випробування сягає півтора метра, що сприяє утворенню великої кількості іонізованих частинок і прискореному повітряному потоку, що зумовлює прогрів повітря поблизу сповіщувача до температури його спрацьовування. При проведенні випробовування час спрацьовування теплового пожежного сповіщувача повинен бути не більшим за 240 с.

При проведенні випробувань теплових пожежних сповіщувачів з використанням стандартного осередку горіння TF-6 використовують 2,0 кг суміші етилового (90 % об'єму) та метилового (10 % об'єму) спиртів, яку наливають в піддон розміром (435 x 435 x 50) мм. Залежність температури від часу для такого осередку горіння наведена на рис. 1.2.

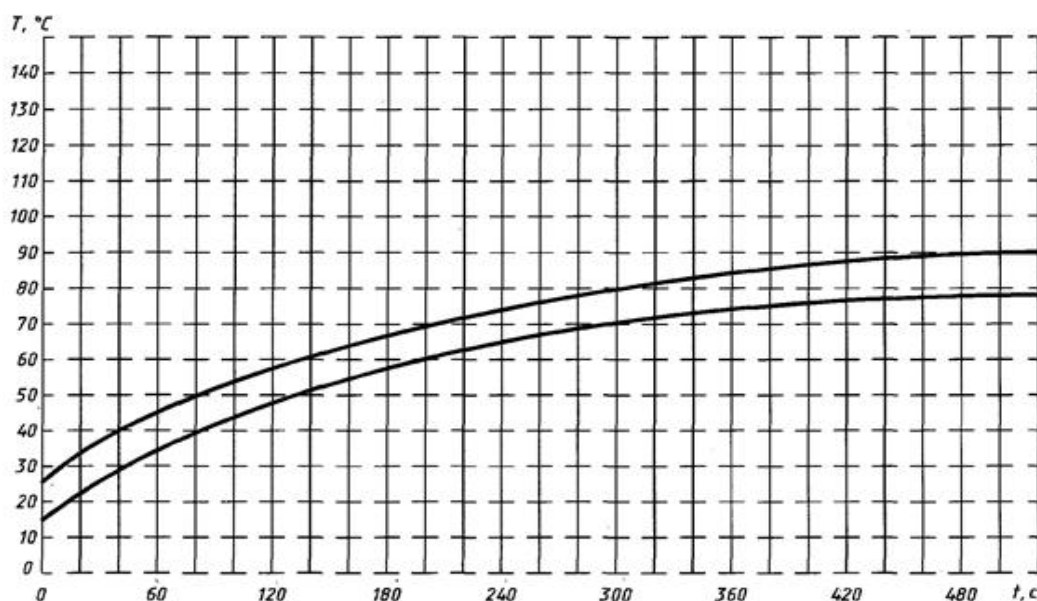


Рисунок 1.7 – Залежність температури від часу
для стандартного осередку горіння TF-6 [25]

При використанні стандартного осередку горіння TF-6 здійснюється лише перевірка виконання умови:

$$t_c \leq 510 \text{ с.} \quad (1.8)$$

Використання стандартних осередків горіння (TF-1, TF-5, TF-6) для випробування теплових пожежних сповіщувачів має певні недоліки, а саме :

- відсутність можливості для проведення випробування безпосередньо у місці, де встановлений пожежний сповіщувач (на об'єкті, що охороняється);
- тривалий час проведення випробування;
- значення параметрів теплового впливу на терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача не нормуються і можуть коливатись у широкому діапазоні;
- величина часового параметра – часу спрацьовування пожежного сповіщувача, не визначається.

Варто зазначити, що алгоритми проведення автономних випробувань теплових пожежних сповіщувачів орієнтовані на відтворення реальних умов їх експлуатації. Зокрема, початкова стадія пожежі характеризується зміною температури за квазілінійним у часі законом [26; 27].

1.2.2. Об'єктові випробування теплових пожежних сповіщувачів

Об'єктові випробування теплових пожежних сповіщувачів можна розділити на три класи:

- випробування, при яких у конструкцію сповіщувача вводиться додатковий елемент, що забезпечує імітацію зовнішнього впливу на чутливий елемент сповіщувача;
- випробування, при яких приймальна станція формує сигнал, за яким забезпечується спрацювання сповіщувача;
- випробування за допомогою невеликих камер для створення зовнішнього впливу на чутливий елемент сповіщувача.

Варто зазначити, що всі зарубіжні нормативні документи орієнтовані на проведення тестування теплових сповіщувачів, метою якого є перевірка їх працездатності. Зокрема, до таких нормативних документів належать стандарти:

- BS 5839 (Великобританія) [28];
- NFPA 72 (США) [29];
- APSAD R7 (Франція) [30];
- DIN 14675:2003-II (Німеччина) [31].

Способи проведення об'єктових випробувань та обладнання для їх проведення наведені в [32- 45].

Теплові пожежні сповіщувачі підлягають перевірці під час технічного обслуговування автоматичних систем протипожежного захисту. Технічне обслуговування, його планування та проведення як правило здійснюється ліцензійними організаціями з підготовленим персоналом для виконання робіт з якими укладені відповідні договори на їх проведення.

Технічне обслуговування теплових пожежних сповіщувачів поділяють на планове та позапланове. Регламент технічного огляду та перевірки наведено в [46].

Зокрема при плановому технічному обслуговуванні :

- щоквартально – здійснюється перевірка спрацювання не менше одного пожежного сповіщувача з кожної зони;

- щорічно – здійснюється перевірка правильності функціонування кожного пожежного сповіщувача відповідно до рекомендацій виробника (допускається тестування до 25% наявних сповіщувачів під час проведення щоквартального технічного обслуговування).

Позапланове технічне обслуговування теплових пожежних сповіщувачів здійснюється за таких умов [46]:

- будь-яке загорання яке, виявлене автоматично чи людиною;
- перепланування, розширення або ремонт приміщень;
- хибні спрацювання автоматичної системи пожежної сигналізації спричинені різноманітними факторами (атмосферні прояви, побутові чинники, людські дії);
- зміни функціонального призначення приміщень або виду діяльності в зонах які , контролюються системою автоматичної пожежної сигналізації;
- механічні пошкодження системи;
- зміни в додатковому обладнанні.

Під час проведення технічного обслуговування СПС, до пожежних сповіщувачів найчастіше вживають таких заходів :

- зовнішній огляд;
- перевірка правильності роботи оптичних індикаторів;
- очистка (продувка) його забруднених поверхонь;
- перевірка працездатності з використанням одного з трьох класів випробувань.

Недоліком проведення технічного обслуговування теплових пожежних сповіщувачів є те, що нормативними документами не встановлені обов'язкові заходи під час проведення технічного обслуговування та періодичність їх виконання.

В Україні немає нормативних документів щодо об'єктових випробувань теплових пожежних сповіщувачів.

На практиці частіше реалізуються випробування третього класу. Прикладом технічної реалізації пристрою для проведення таких об'єктових випробувань теплових пожежних сповіщувачів є пристрій Теплотест-М (модель Н211) [47].

Застосування цього приладу можливе для випробування максимальних, диференційних та максимально-диференційних пожежних сповісвачів.

Зовнішній вигляд пристрою наведено на рис. 1.8, а його технічні характеристики – в табл. 1.4.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд пристрою Теплотест-М, модель H211
(зображення взято з сайту: <http://www.elfor.ck.ua/produkt/h211>)

Таблиця 1.4

Технічні характеристики пристрою Теплотест-М (модель H211)

Діапазон напруги живлення, В	10,8–13,2
Час готовності, с	120
Діапазон температури вихідного потоку повітря, °C	50–100
Діапазон швидкості росту температури вихідного потоку, °C/06	1–50
Час безперервної роботи, год	3,5
Габаритні розміри, мм	63 x 280
Маса, кг	0,24

Пристрій виконаний у вигляді циліндричного корпусу, в якому розташовані нагрівач, електронна плата керування із термочутливим елементом та вентилятор. На верхній частині корпусу встановлено ковпак, за допомогою якого утворюється робоча ділянка пристрою.

Для проведення випробувань пристрій Теплотест-М підноситься до пожежного сповіщувача на мінімальну відстань або таким чином, щоб він повністю оточував сповіщувач.

На рис. 1.9 наведено варіанти проведення випробування теплових пожежних сповіщувачів за допомогою пристрою Теплотест-М (модель Н211). Стрілкою показано напрям руху повітряного теплового потоку. Ліворуч наведено варіант випробувань з використанням ковпака, праворуч – з безпосередньою подачею теплового повітряного потоку.

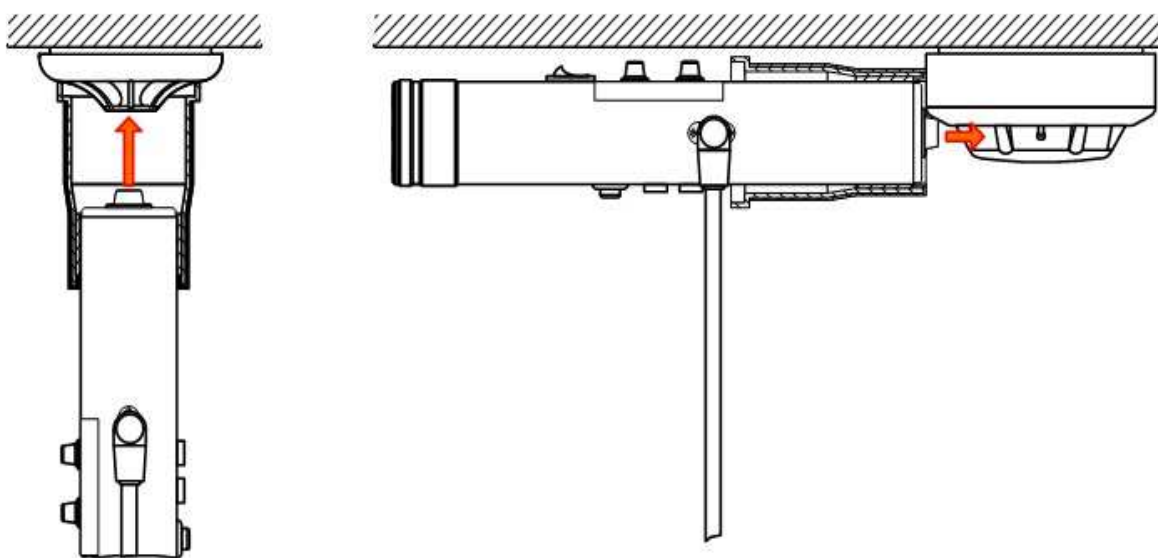


Рисунок 1.9 – Варіанти використання пристрою Теплотест-М (модель Н211) для випробування пожежних сповіщувачів

(зображення взято з сайту: <http://www.elfor.ck.ua/produkt/h211>)

Не залежно від класу об'єктових випробувань теплових пожежних сповіщувачів при їх реалізації не визначається величина часу спрацьовування, а встановлюється лише факт спрацьовування або неспрацьовування теплового пожежного сповіщувача за результатами випробувань.

1.2.3. Аналіз утримання та хибних спрацювань автоматичних систем пожежної сигналізації

Проведений аналіз випробувань теплових пожежних сповіщувачів показує недосконалість у галузі нормативно-правового забезпечення в цьому напрямку, що безпосередньо впливає на технічні характеристики пожежних сповіщувачів та автоматичних установок пожежної сигналізації.

В роботі проведено аналіз хибних спрацювань СПС, зокрема оперативні виїзди пожежно-рятувальних підрозділів ГУ ДСНС України у Львівській області та виїзди пожежно-рятувальних підрозділів ГУ (У) ДСНС України за останні роки [48,49].

В табл. 1.5 наведено виїзди пожежно-рятувальних підрозділів Львівської області на пожежі та хибні спрацювання автоматичних СПС з початку 2018 року по 04.09.2023 р.

Таблиця 1.5

Виїзди пожежно-рятувальних підрозділів ГУ ДСНС України у Львівській області на пожежі та хибні спрацювання автоматичних систем пожежної сигналізації [48]

№ з/п	Рік	Виїзди підрозділів		%
		На пожежі	Хибні спрацювання АПС	
1	2018	3015	101	3,3
2	2019	3769	69	1,8
3	2020	5179	87	1,6
4	2021	3708	56	1,5
5	2022	4889	48	0,9
6	по 04.09.2023	1954	38	1,9
Загальна кількість		22 514	399	1,7

В табл.1.5 показано, що відношення виїздів на хибні спрацювання автоматичних систем пожежної сигналізації до кількості виїздів на пожежі за останні роки становить від 0,9 % до 3,3% із середнім показником 1,7%. Відносно кількості хибних виїздів, то цей показник становить від 38 до 101 виїздів на рік, що загалом становить 399 виїздів з початку 2018 року по 04.09.2023року.

В табл. 1.6 наведено порівняльна кількість виїздів пожежно – рятувальних підрозділів ДСНС України на пожежі та хибні спрацювання автоматичних СПС за останні 3 роки [49].

Таблиця 1.6

Виїзди пожежно – рятувальних підрозділів ДСНС України на пожежі та хибні спрацювання автоматичних систем пожежної сигналізації
в період з 2020 по 2022 роки [49]

№ з/п	ГУ(У) ДСНС	2020			2021			2022			Загальна кількість 2020-2022		
		пожежі	АПС	%	пожежі	АПС	%	пожеж	АПС	%	пожежі	АПС	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Вінницька	3745	34	0,9	3010	40	0,1	4389	42	0,9	11 144	116	1
2	Волинська	1557	145	9,3	1152	150	13	1360	125	9,1	4 069	420	10,3
3	Дніпропет-ка	11145	436	3,9	8645	360	4,1	7281	302	4,1	27 071	1098	4
4	Донецька	6962	70	1	4412	53	1,2	4412	53	1,2	15 786	176	1,1
5	Житомирська	4017	116	2,8	2744	158	5,7	2708	95	3,5	9 469	369	3,8
6	Закарпатська	3956	1	0,02	1958	10	0,5	3650	2	0,05	9 564	13	0,1
7	Запорізька	6119	172	2,8	5340	188	3,5	3763	118	3,1	15 222	478	3,1
8	Ів. Франківська	3261	11	0,3	2660	13	0,4	3492	20	0,5	9 413	44	0,4
9	м .Київ	5607	172	3	5134	188	3,6	3081	89	2,8	13 822	449	3,2

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	Київська	8969	92	1	6905	139	2	8329	125	1,5	24 203	356	1,4
11	Кіровогр-ка	2539	168	6,6	1736	185	10,6	1828	324	17,7	6 103	677	11
12	Луганська	4643	57	1,2	2455	65	2,6	1152	17	1,4	8 250	139	1,6
13	Львівська	5179	87	1,6	3709	56	1,5	4889	48	0,9	13 777	191	1,3
14	Миколаївська	2860	27	0,9	2726	22	0,8	2339	40	1,7	7 925	89	1,1
15	Одеська	6087	325	5,3	5710	412	7,2	7141	344	4,8	18 938	1081	5,7
16	Полтавська	3487	119	3,4	2978	155	5,2	2178	148	6,7	8 643	422	4,8
17	Рівненська	1172	52	4,4	1148	66	5,7	1113	64	5,7	3 433	182	5,3
18	Сумська	1478	167	11,2	1235	127	10,2	1330	130	9,7	4 043	424	10,4
19	Тернопіл-ка	1954	11	0,5	1372	11	0,8	1870	7	0,3	5 196	29	0,5
20	Харківська	8801	208	2,3	6555	252	3,8	6306	75	1,1	21 662	535	2,4
21	Херсонська	2841	0	0	2825	8	0,2	503			6 169	8	0,1
22	Хмельн-ка	1389	48	3,4	1371	53	3,8	1701	2	0,1	4 461	103	2,3
23	Черкаська	1782	135	7,5	1460	181	12,3	1460	181	12,3	4702	497	10,5
24	Чернівецька	1324	74	5,5	1214	113	9,3	1922	71	3,6	4 460	258	5,7
25	Чернігівська	2740	115	4,1	2159	90	4,1	1612	23	1,4	6 511	228	3,5
Всього		103614	2842	2,7	80613	3095	3,8	79809	2445	3	264036	8382	3,1

Статистичні дані, наведені в табл.1.6, показують, що відношення виїздів на хибні спрацювання автоматичних систем пожежної сигналізації до кількості виїздів на пожежі за останні 3 роки становить 3,1%. Кількість виїздів на хибні спрацювання СПС за 2020 р. становила – 2842, 2021 р. – 3095, 2022 р. – 2445 виїздів. Загальна кількість виїздів підрозділів ДСНС України на хибні спрацювання СПС в період з 2020 р. по 2022 р. становить 8382.

На рис.1.10 наведено порівняльну кількість виїздів пожежно-рятувальних підрозділів по областях на хибні спрацювання СПС.

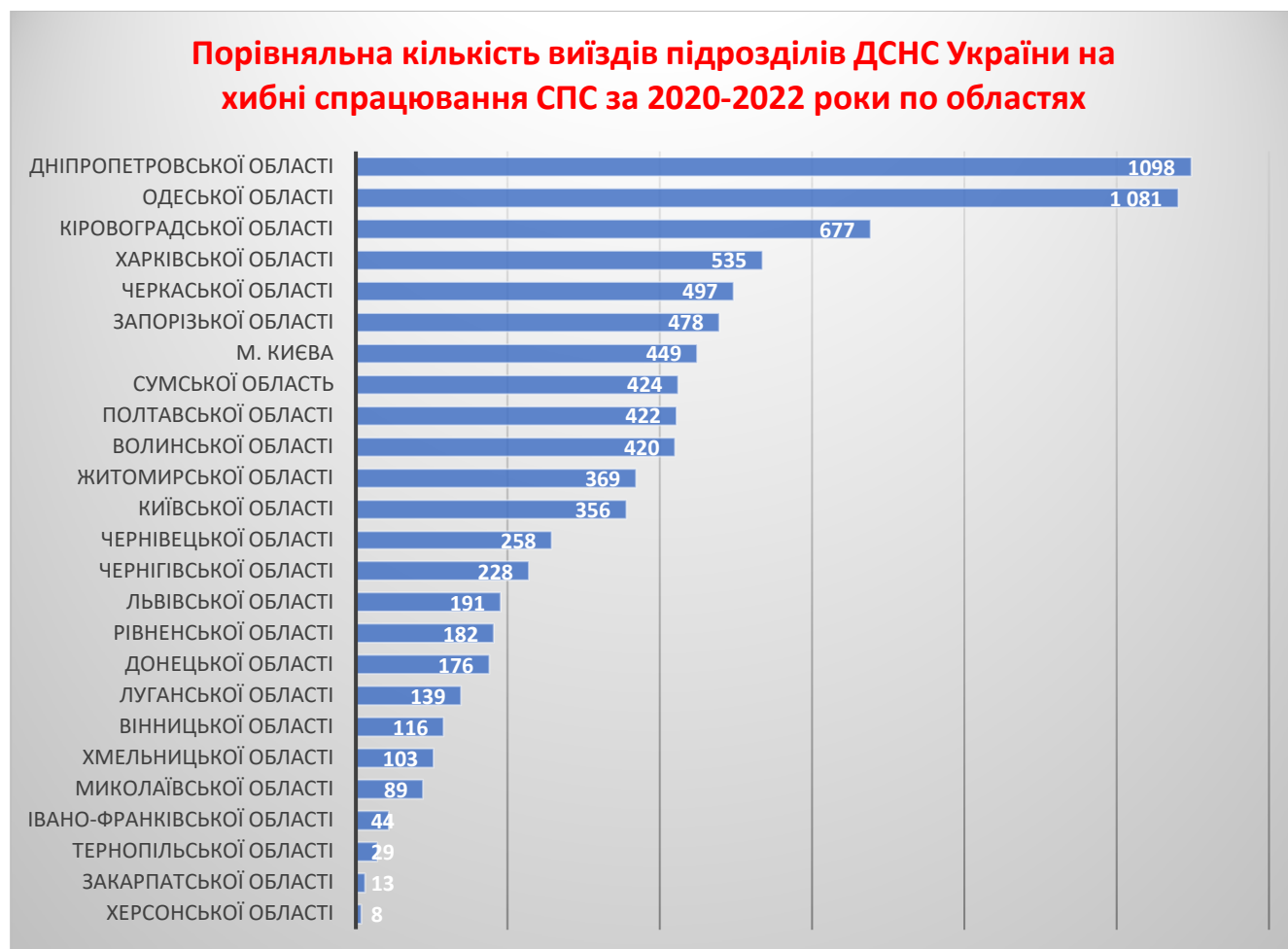


Рисунок 1.10 – Порівняльна кількість виїздів пожежно – рятувальних підрозділів по областях на хибні спрацювання СПС в період з 2020 по 2022р.

Із рис.1.10 випливає, що найбільшу кількість виїздів на хибні спрацювання систем пожежної сигналізації здійснено пожежно-рятувальними підрозділами Дніпропетровської, Одеської, Кіровоградської, Харківської та Запорізької областей.

В статистичних даних наведених в табл. 1.6 та на рис. 1.10, наявна не велика похибка, оскільки дані наведені без врахування виїздів пожежно – рятувальних підрозділів Херсонської та не точними даними по Донецькій областях, в яких через військову агресію ведення даних показників здійснювалось не коректно, проте

наведена інформація дає можливість оцінити кількість виїздів на хибні спрацювання СПС.

Відсутність на об'єктах різного призначення автоматичних СПС, неналежне їх утримання під час експлуатації, піддає значному ризику життя та здоров'я людей, сприяє швидкому розповсюдженню продуктів горіння, спричиняє значні матеріальні затрати при виникненні пожеж на цих об'єктах та створює умови які ускладнюють їх ліквідацію.

Наслідки відсутності автоматичної СПС на об'єктах можна розглянути на прикладах пожеж, наведених в [50,51].

Зранку 4 грудня 2019 року виникла пожежа в Одеському коледжі економіки, права та готельно-ресторанного бізнесу в м. Одеса по вул. Троїцькій, 25. На момент виникнення пожежі в будівлі перебувало близько 400 людей. По прибутті першого пожежно-рятувального підрозділу, площа пожежі становила 700 м². Через значні порушення правил пожежної безпеки, в тому числі і відсутність СПС, пожежа на ранній стадії не була ідентифікована, що призвело до швидкого поширення вогню та несвоєчасної евакуації людей. Внаслідок пожежі загинуло 16 осіб з яких 1 працівник ДСНС, травмовано 32 людей [50]. Значна частина будівлі була знищена вогнем рис.1.11.



Рисунок 1.11 – Гасіння пожежі в Одеському коледжі економіки, права та готельно-ресторанного бізнесу (зображення взято з сайту:

<https://www.pravda.com.ua/news/2019/12/17/7235119/>)

17 серпня на вул. Водопровідна, 1 а, м. Одеса сталося загоряння на 2-му поверсі даху готелю «ТОКІО-СТАР» на площі 300 м² (рис.1.12.)

Через швидке поширення вогню горючими конструкціями існувала загроза розповсюдження пожежі на всю площу будівлі. Першочергові дії рятувальників було спрямовано на пошук та рятування людей з палаючої будівлі. Завдяки злагодженим діям підрозділів ДСНС врятовано 7 та 136 осіб евакуйовано. Приміщення експлуатувалось із значними порушення правил пожежної безпеки в тому числі за відсутності систем протипожежного захисту. Внаслідок пожежі загинуло 9 та 10 осіб травмовано [51].



Рисунок 1.12 – Гасіння пожежі готелю «ТОКІО-СТАР» в м. Одеса
(зображення взято з сайту: <https://suspilne.media/156302-9-zagiblih-133-tomi-ta-zodnogo-viroku-so-vidbuvaetsa-zi-spravou-odeskogo-gotelu-tokio-star/>)

Деякі з багатьох прикладів успішного спрацювання автоматичних СПС наведені в [52-54]

22.03.2021 р. о 02 год 38 хв до оперативно-диспетчерської служби Управління ДСНС України в Тернопільській області надійшло повідомлення про спрацювання автоматичної пожежної сигналізації в приміщенні одного з банків,

розташованого на першому поверсі 4-поверхового будинку в м. Тернопіль по вул. Замковій.

По прибутті до місця виклику чергового караулу встановлено, що за вказаною адресою виникла пожежа в приміщенні сауни в підвальному приміщенні цього будинку, в результаті чого виникло задимлення приміщення банку та верхніх поверхів. О 03 год 35 хв пожежу локалізовано та о 03 год 37 хв -ліквідовано на площі 20 м. кв. Під час гасіння з верхніх поверхів будинку, за допомогою спеціального обладнання врятовано трьох осіб, з них одну дитину, ще п'ять мешканців будинку виведено на свіже повітря [52].

29.09.2021 р. о 09 год 28 хв під час другого уроку спрацювала пожежна сигналізація в навчально-виховному комплексі №16, що на Полтавщині [53]. Завдяки належній експлуатації автоматичної СПС вдалось виявити загорання на початковій стадії, здійснити швидку евакуацію майже 900 дітей і вчителів та не допустити значного розповсюдження пожежі.

19.04.2023 р. о 20:51 до Служби порятунку «101» надійшло повідомлення про те, що в обласному центрі виникла пожежа в одному з корпусів Хмельницького політехнічного фахового коледжу на вул. Зарічанській [54]. Про інцидент сповістила спеціалізована служба, після спрацювання пожежної сигналізації у коледжі. Завдяки оперативним та фаховим діям надзвичайників пожежу вдалося ліквідувати на площі 3 кв.м, не допустивши її подальшого поширення триповерховою будівлею.

Також маємо приклади масштабних пожеж на об'єктах, які були обладнані найновішими системами протипожежного захисту [55].

03.04.2015 р. в складському приміщенні індустріального парку заводу General Electric, що розташований в м. Луїсвілль штату Кентукі, США виникла пожежа, площа якої становила 21000 м². В результаті пожежі вогонь знищив будівлі та їхній вміст, а збитки становили понад 110 мільйонів доларів. До гасіння пожежі було залучено 200 пожежників [55].



Рисунок 1.13 – Гасіння пожежі в складському приміщенні заводу General Electric
(зображення взято з сайту: https://www.dialog.ua/news/49557_1428072460)

Про ефективність та доцільність використання і впровадження СПС можна судити за інформацією, яка була отримана фахівцями Європейської корпорації з пожежної сигналізації «Eurolam» [17]. Інформація була взята на основі аналізу статистичного матеріалу, яким було охоплено близько 12 000 СПС та 8000 пожеж, зареєстрованих за 15 років. Дані аналізу визначили, що використання СПС сприяє зниженню матеріальних збитків від пожеж на 63%.

1.3. Методи визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів

Найбільш вагомі результати з розробки методів та засобів визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів одержані представниками наукової школи, яку очолює професор Ю. О. Абрамов.

Методи визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів [56-60] залежно від групи їх випробувань розділяються на:

- методи визначення при автономних випробуваннях;
- методи визначення при об'єктових випробуваннях.

У кожному із цих методів можна виділити методи визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів із використанням:

- часових параметрів вихідного сигналу чутливого елемента пожежних сповіщувачів;
- амплітудних параметрів вихідного сигналу чутливого елемента пожежних сповіщувачів.

1.3.1. Визначення постійної часу пожежних сповіщувачів при автономних випробуваннях

У ролі тест-впливу на чутливий елемент теплових пожежних сповіщувачів можуть використовуватись повітряні потоки, температура яких представлена у вигляді [61]

$$\theta_i(t) = T_i(t) - T_0 = \sum_{i=1}^3 b_i t^{i-1}, \quad (1.9)$$

де b_i – швидкість зростання температури теплового впливу.

Вихідні сигнали пожежних сповіщувачів при таких тест-впливах будуть описуватись виразами :

$$i = 1, u_1(t) = b_1 [1 - \exp(-\frac{t}{\tau})], \quad (1.10)$$

$$i = 2, u_2(t) = b_2 [t - \tau [1 - \exp(-\frac{t}{\tau})]], \quad (1.11)$$

$$i = 3, u_3(t) = 2b_3 [0,5t^2 - \tau t + \tau^2 [1 - \exp(-\frac{t}{\tau})]]. \quad (1.12)$$

Моделі (1.10)–(1.12) є основою для формування методів визначення постійної часу τ теплових пожежних сповіщувачів.

У [62] показано, що при формуванні опорних сигналів U_1 та U_2 , які пов'язані співвідношенням :

$$U_2 = nU_1; n > 1,0, \quad (1.13)$$

Де n – в скільки разів відрізняються між собою опорні сигнали.
у моменти часу t_1 та t_2 , що вимірюються у встановленому режимі, буде мати місце (згідно з (1.11))

$$U_1 = Kb_2(t_1 - \tau); \quad U_2 = Kb_2(t_2 - \tau), \quad (1.14)$$

де: K – коефіцієнт передачі тепла пожежного сповіщувача

Із (1.14) випливає, що:

$$\tau = t_1 - U_1(Kb_2)^{-1} = t_2 - U_2(Kb_2)^{-1}, \quad (1.15)$$

внаслідок чого для постійної часу τ дійсним є вираз:

$$\tau = 0,5[(m + 1)t_1 - (m - 1)t_2], \quad (1.16)$$

$$\text{де: } m = (n + 1)(n - 1)^{-1}. \quad (1.17)$$

У [63] показано, що після закінчення перехідних процесів для сигналу (1.12) дійсним є:

$$U_3(t) = 2b_3(0,5t^2 - \pi + \tau^2), \quad (1.18)$$

внаслідок чого при $U_{3i} = \text{const}$ можна записати:

$$t_i = \tau[1 + (u_{3i}(b_3\tau^2)^{-1} - 1)^{0,5}]. \quad (1.19)$$

де u_{3i} – температура теплового впливу на чутливий елемент, b_3 – коефіцієнт швидкості зміни тепла.

Якщо врахувати умову:

$$U_{33} - U_{32} = U_{32} - U_{31}, \quad (1.20)$$

то для постійної часу τ дійсним буде вираз:

$$\tau = 0,5(t_1^2 - 2t_2^2 + t_3^2)(t_1 - 2t_2 + t_3)^{-1}, \quad (1.21)$$

де t_i – час досягнення вихідного сигналу пожежного сповіщувача рівня U_{3i} .

При визначенні часового параметра τ згідно з (1.16) для теплових пожежних сповіщувачів класу А1, які відповідають вимогам євростандарту EN 54, величина похибки, що обумовлена неточністю формування тест-впливу, може становити понад 20 %. При використанні виразу (1.21) для визначення часового параметра τ необхідно забезпечити формування тест-впливу на чутливий елемент пожежного сповіщувача за квадратним у часі законом із похибкою $\pm 2\text{К}$. Крім того, результат визначення часового параметра буде залежати від похибки, яка обумовлена зміною вихідного сигналу пожежного сповіщувача в межах інтервалів, що задані величинами U_{3i} .

Приклади визначення постійної часу τ теплових пожежних сповіщувачів із використанням амплітудного параметра їхніх вихідних сигналів наведено у [24,

64]. Одним із таких методів є метод, реалізація якого ґрунтується на формуванні тест-впливу у вигляді функції Хевісайда з амплітудою θ_0 і вимірюванні вихідного сигналу пожежного сповіщувача та його похідної в апріорі заданий момент часу. Недоліком такого методу є необхідність використання похідної від вихідного сигналу пожежного сповіщувача, що супроводжується достатньо великою похибкою [64].

У ролі температурного тест-впливу може використовуватись сигнал у вигляді прямокутного імпульсу амплітуди θ_0 і тривалості t_0 , тобто :

$$\theta(t) = \theta_0[1(t) - 1(t - t_0)], \quad (1.22)$$

де $1(\cdot)$ – функція Хевісайда [5].

У цьому випадку постійна часу τ пожежного сповіщувача визначається виразом [24, 64]

$$\tau = (\int_0^\infty u(t)dt)^{-1} \int_0^\infty \int_t^\infty u(t)dt dt - (\int_0^\infty \theta(t)dt)^{-1} \int_0^\infty \int_t^\infty \theta(t)dt dt, \quad (1.23)$$

де : $u(t)$ – вихідний сигнал пожежного сповіщувача.

Недоліком такого методу визначення часового параметра τ є труднощі при визначенні другої адитивної складової b (1.23).

1.3.2. Визначення постійної часу пожежних сповіщувачів при об'єктових випробуваннях

Для цієї групи методів визначення часового параметра τ пожежних сповіщувачів характерним є те, що найбільш пропрацьовано методи, які орієнтовані на пожежні сповіщувачі із терморезистивним чутливим елементом [24, 64-67].

Залежно від параметрів, що вимірюються, методи визначення постійної часу пожежних сповіщувачів цієї групи розділяються на дві групи:

- 1) методи, в основі яких лежить вимірювання енергетичних параметрів;
- 2) методи, в основі яких лежить вимірювання часових параметрів.

Методи першої групи розділяються залежно від інформаційних параметрів на чотири підгрупи – із використанням:

- значення вихідного сигналу, що встановився;
- амплітуди імпульсу;
- постійної складової вихідного сигналу;
- амплітуди гармонічної складової вихідного сигналу.

Методи другої групи залежно від характеру формування умов для вимірювання часових параметрів вихідного сигналу розділяються на три підгрупи:

- за умов забезпечення рівності двох пар вихідних сигналів;
- за умов забезпечення різниці двох вихідних сигналів;
- за умов використання відношення двох вихідних сигналів.

Усі розглянуті методи визначення постійної часу пожежних сповіщувачів передбачають використання відповідних алгоритмів обробки інформації [67]. Складність алгоритмів обробки інформації можна характеризувати числом математичних операторів, які в них використовуються [68–70]. При використанні методів, що ґрунтуються на вимірюванні енергетичних параметрів вихідного сигналу пожежних сповіщувачів, найменшою складністю вирізняються алгоритми, формалізація яких має вигляд : $\tau = \theta_m(KI_0^2)^{-1}$, (1.24)

де θ_m – вихідний сигнал пожежного сповіщувача в режимі, що встановився;

K – коефіцієнт передачі тепла пожежного сповіщувача;

I_0 – амплітуда прямокутного імпульсу така, що протікає через терморезистивний чутливий елемент сповіщувача.

Серед алгоритмів обробки інформації, оснований на вимірюванні часових параметрів вихідного сигналу пожежних сповіщувачів, найменш складними є алгоритми з використанням трьох часових параметрів.

Складність технічної реалізації методів визначення постійної часу пожежних сповіщувачів можна характеризувати кількістю функціональних елементів структурної схеми сповіщувача [71,72]. Згідно із цим показником найбільш складним є пристрій для вимірювання трьох часових параметрів вихідного сигналу пожежного сповіщувача [64].

Варто зазначити, що більшість методів визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів передбачає використання інформації стосовно таких параметрів, як коефіцієнт його передачі та величина струму, що протікає через терморезистивний чутливий елемент сповіщувача. Ця обставина обумовлює нормування цих величин та їх вимірювання під час експлуатації пожежних сповіщувачів.

1.4. Постановка задачі та особливості її вирішення

Аналіз методів визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів свідчить про те, що тепловий вплив на їхній чутливий елемент може здійснюватись за допомогою і зовнішніх, і внутрішніх джерел тепла. У більшості випадків використовується перший варіант. Другий варіант характерний для пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом та ґрунтується на використанні ефекту Джоуля-Ленца [73]. У цьому випадку відкриваються нові можливості щодо підвищення ефективності системи експлуатації як пожежних сповіщувачів, так і систем виявлення пожеж загалом. Об'єктові випробування таких пожежних сповіщувачів можуть бути реалізовані в автоматичному режимі з одержанням оцінок їхніх технічних характеристик.

Однак ще є чимало невирішених питань. Зокрема:

- немає обґрунтування математичних моделей теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, яке містило б кількісні оцінки параметрів таких моделей;
- число форм імпульсів електричного струму, за допомогою яких здійснюється тепловий тест-вплив на терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача, обмежене, а їх вибір проводиться неякісно;
- усі наявні алгоритми для визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів містять багато (понад три) параметрів, значення яких підлягають ідентифікації;

- не враховується вплив варіацій температури навколишнього середовища у місці установки пожежного сповіщувача на результат його випробувань;

- відсутнє обґрунтування вибору алгоритмів визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом з використанням кількісних показників або критеріїв.

У зв'язку із цим основною задачею роботи є обґрунтування імпульсного методу визначення часових параметрів – часу спрацьовування та постійної часу теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, в основі якого лежить використання ефекту Джоуля-Ленца та реалізація якого забезпечується при протіканні одиночних імпульсів електричного струму непрямокутної форми через терморезистивний чутливий елемент пожежних сповіщувачів.

Для вирішення основного завдання потрібно вирішити низку таких задач:

- створити математичні моделі, що описують теплові процеси в терморезистивному чутливому елементі пожежних сповіщувачів внаслідок теплової дії електричного струму, який протікає через нього, та одержати оцінки параметрів таких моделей;

- відповідно до імпульсів електричного струму непрямокутної форми розробити математичні моделі, що описують реакцію терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів на їхню теплову дію, та сформулювати варіанти алгоритмів для реалізації методу визначення його постійної часу;

- одержати оцінки для впливу варіацій температури навколишнього середовища на процес визначення часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом та обґрунтувати вибір варіанта алгоритму для реалізації методу його визначення;

- із використанням пакета візуального програмування Simulink створити імітаційні моделі для визначення часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом та за їх допомогою обґрунтувати вибір початкових даних для реалізації методу його визначення;

- розробити алгоритм для реалізації імпульсного методу визначення часових параметрів – часу спрацьовування та постійної часу теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом і представити його словесну інтерпретацію.

При вирішенні першої задачі доцільно математичну модель терморезистивного чутливого елемента представити в операторній формі, зокрема у вигляді передаточної функції. Це відкриває можливості для використання методів теорії автоматичного управління при обґрунтуванні методу визначення часових параметрів теплових сповіщувачів.

При виборі варіанта алгоритму для реалізації методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів акценти мають бути зроблені на простоту формування імпульсів електричного струму, а також на мінімум параметрів математичного опису реакції терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів на їхню теплову дію. При цьому остаточне рішення має бути ухвалене за умови забезпечення мінімальної похибки, яка обумовлена впливом варіацій температури навколишнього середовища.

Для перевірки методу визначення часового параметра – постійної часу пожежних сповіщувачів, доцільно використати імітаційну модель такого процесу [74]. Водночас імітаційне моделювання дає змогу визначити оптимальні значення початкових даних, що використовуються в такому методі.

Висновки до першого розділу

1. Відзначається, що до часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів належить час спрацьовування та постійна часу, які пов'язані між собою. Показано, що внесок величини постійної часу до часу спрацьовування може становити до 20 % при швидкості зміни температури навколишнього середовища $0,5^{\circ}\text{C}\text{с}^{-1}$.

2. Для визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів використовуються їх випробування, які розділяються на стаціонарні або автономні та оперативні або об'єктові.

3. 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.

4. При проведенні 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 одержання оцінок їх часу спрацьовування та постійної часу.

5. Показано, 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 та оснований на використанні ефекту Джоуля-Ленца. У цьому випадку відкриваються нові можливості для підвищення ефективності системи експлуатації пожежних сповіщувачів такого типу.

6. Проведений аналіз визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів дав змогу виділити проблемні питання і сформулювати задачу дослідження та визначити особливості її вирішення.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ТЕРМОРЕЗИСТИВНОМУ ЧУТЛИВОМУ ЕЛЕМЕНТІ ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА

2.1. Модель у класі рівнянь математичної фізики

При протіканні електричного струму $i(t)$ через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача, згідно із законом Джоуля-Ленца [75,76], буде виникати тепловий ефект, внаслідок чого температура $T(r, t)$ такого чутливого елемента буде змінюватись [77]. Опис теплових процесів у терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача в цьому випадку можна представити у вигляді диференційного рівняння [78–80].

$$\frac{\partial \theta(r, t)}{\partial t} = a \left[\frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} \right] + \varphi(r, t), \quad (2.1)$$

із початковими і граничними умовами:

$$\theta(r, 0) = 0; \quad \frac{\partial \theta(D, t)}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial \theta(R, t)}{\partial r} = -h\theta(R, t), \quad (2.2)$$

де: a – коефіцієнт температуропровідності терморезистивного чутливого елемента;

h – відносний коефіцієнт теплообміну;

R – радіус терморезистивного чутливого елемента;

$\varphi(t)$ – функція, яка описує внутрішнє джерело тепла, обумовлене тепловою дією електричного струму $i(t)$.

$$\varphi(r, t) = Ki^2(t), \quad (2.3)$$

де: $K = const$ – коефіцієнт передачі тепла пожежного сповіщувача.

У виразах (2.1) та (2.2) врахована залежність

$$\theta(r, t) = T(r, t) - T_0, \quad (2.4)$$

де T_0 – температура терморезистивного чутливого елемента в початковий момент часу.

Якщо застосувати інтегральне перетворення Ханкеля до диференційного рівняння (2.1), то його можна переписати так [81–83] :

$$\frac{d\bar{\theta}\left(\frac{\mu_n}{R}, t\right)}{dt} = aH \left[\frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} \right] + \bar{\varphi} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right), \quad (2.5)$$

$$\text{де: } \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) = H[\theta(r, t)] = \int_0^R r I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \theta(r, t) dr, \quad (2.6)$$

$$\bar{\varphi} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) = H[\varphi(r, t)] = \int_0^R I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \varphi(r, t) dr, \quad (2.7)$$

де: μ_n – n -й корінь трансцендентного рівняння

$$WRI_0(\mu) - \mu I_1(\mu) = 0, \quad (2.8)$$

$I_0(\mu), I_1(\mu)$ – функції Бесселя першого роду нульового та першого порядків відповідно;

H – оператор інтегрального перетворення Ханкеля.

Визначимо першу адитивну складову правої частини диференційного рівняння (2.5), тобто :

$$I = H \left[\frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} \right] = \int_0^R r I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \times \left[\frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} \right] dr, \quad (2.9)$$

Після інтегрування по частинах вираз (2.9) трансформується так:

$$\begin{aligned} I &= r \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} I_0 \int_0^R - \int_0^R \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} \left(\frac{d}{dr} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) - I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \right) dr = \\ &= r \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \int_0^R - \frac{\mu_n r}{R} \int_0^R r \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} I_0^1 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) dr, \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\text{де: } I_0^1 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) = \frac{d}{dr} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right), \quad (2.11)$$

Для другої адитивної складової правої частини (2.10) після інтегрування по частинах матиме місце:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{\mu_n}{R} \int_0^R r \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} I_0^I \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) dr = \frac{\mu_n r}{R} \theta(r, t) I_0^I \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \int_0^R - \frac{\mu_n}{r} \int_0^R \theta(r, t) \left(I_0^I \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\mu_n r}{R} I_0^{II} \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \right) dr, \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\text{де: } I_0^{II} \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) = \frac{d^2}{dr^2} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right), \quad (2.13)$$

Якщо диференційне рівняння Бесселя відносно функції $I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right)$ записати у вигляді [84]

$$\frac{\mu_n r}{R} I_0^{II} \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) + I_0^I \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) + \frac{\mu_n r}{R} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) = 0, \quad (2.14)$$

то при врахуванні (2.14) вираз для I_1 можна переписати так:

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{\mu_n r}{R} \theta(r, t) I_0^I \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \int_0^R - \frac{\mu_n}{R} \int_0^R \theta(r, t) \left(\frac{\mu_n r}{R} I_0^{II} \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) + I_0^I \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) + \frac{\mu_n r}{R} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) - \right. \\
&\quad \left. - \frac{\mu_n r}{R} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) - \frac{\mu_n r}{R} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \right) dr = \frac{\mu_n r}{R} \theta(r, t) I_0^I \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) + \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 \int_0^R r I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \theta(r, t) dr = \\
&= \frac{\mu_n r}{R} \theta(r, t) I_0^I \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) + \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right), \tag{2.15}
\end{aligned}$$

Із врахуванням (2.10), (2.12) та (2.15) вираз (2.9) буде трансформовано до вигляду:

$$\begin{aligned}
I &= \left(r \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) - \frac{\mu_n r}{R} \theta(r, t) I_0^I \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \right) \int_0^R - \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) = \left(r \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) + \right. \\
&\quad \left. + r h \theta(r, t) I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \right) \int_0^R - \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) = R I_0(\mu_n) \left[\frac{\partial \theta(R, t)}{\partial r} + h \theta(R, t) \right] - \\
&\quad - \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right), \tag{2.16}
\end{aligned}$$

що при врахуванні граничних умов (2.2) набуває вигляду:

$$I = - \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right), \tag{2.17}$$

Цей результат дає підстави переписати диференціальне рівняння (2.5) так:

$$\frac{\partial \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right)}{\partial t} + a \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) = \bar{\varphi} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right), \tag{2.18}$$

Для функції $\bar{\varphi} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right)$ дійсним є [85]

$$\bar{\varphi} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) = \bar{\varphi}(t) = \int_0^R r \varphi(t) I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) dr = \frac{K R^2 I_1(\mu_n)}{\mu_n} i^2(t), \tag{2.19}$$

що із врахуванням (2.8) може бути представлено у вигляді:

$$\bar{\varphi} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) = \frac{K h R^3 I_0(\mu_n)}{\mu_n^2} i^2(t). \tag{2.20}$$

Після об'єднання (2.18) і (2.20), одержимо:

$$\frac{\partial \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right)}{\partial t} + a \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) = \frac{K h R^3 I_0(\mu_n)}{\mu_n^2} i^2(t), \tag{2.21}$$

Рішенням цього диференціального рівняння є [84]

$$\bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) = \frac{K h R^3 I_0(\mu_n)}{\mu_n^2} \int_0^t i^2(\varepsilon) \exp \left(-a \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 (t - \varepsilon) \right) d\varepsilon, \tag{2.22}$$

Це рішення пов'язане з рішенням $\theta(r, t)$ диференціального рівняння (2.1) через зворотне перетворення Ханкеля H^{-1} (формулу звернення) [83,86]

$$\begin{aligned}\theta(r, t) &= H^{-1} \left[\bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) \right] = \frac{L}{R^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n^2 I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right)}{I_0^2(\mu_n) [(hR)^2 + \mu_n^2]} = \\ &= 2KhR \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right)}{I_0(\mu_n) [(hR)^2 + \mu_n^2]} \int_0^t i^2(\varepsilon) \exp \left(-a \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 (t - \varepsilon) \right) d\varepsilon, \quad (2.23)\end{aligned}$$

Вираз (2.23) є загальним виразом для визначення розподілу температури в терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача вздовж його радіуса, яка обумовлена протіканням через нього електричного струму $i(t)$. Варто зазначити, що при одержанні виразу (2.23) на функцію $i(t)$ не накладалися жодні обмеження.

Усереднена по об'єму терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача температура визначається виразом:

$$\begin{aligned}\theta(t) &= \frac{2}{R^2} \int_0^R r \theta(r, t) dr = \frac{4Kh}{r} \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^R \frac{r I_0^0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) dr}{I_0(\mu_n) [(hR)^2 + \mu_n^2]} \int_0^t i^2(\varepsilon) \exp \left(-a \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 (t - \right. \\ &\quad \left. - \varepsilon) \right) d\varepsilon, \quad (2.24)\end{aligned}$$

який при врахуванні співвідношення [85]

$$\int_0^R I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) dr = \frac{R^2}{\mu_n} I_1(\mu_n), \quad (2.25)$$

та трансцендентного рівняння (2.8) може бути представлений у вигляді:

$$\theta(t) = 4K(hR)^2 \sum_{n=1}^{\infty} [(hR)^2 + \mu_n^2]^{-1} \int_0^t i^{2(\varepsilon)} \exp \left(-a \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 (t - \varepsilon) \right) d\varepsilon. \quad (2.26)$$

При виборі виразу, який описує функцію терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача, потрібно враховувати розміри чутливого елемента. При малих його розмірах доцільно використовувати вираз, який описує усереднену по цьому об'єму температуру, – вираз (2.26).

Як приклад розглянемо реакцію терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію електричного струму, який стрибкоподібно змінюється у часі:

$$i_1(t) = I \, 1(t). \quad (2.27)$$

або має форму прямокутного імпульсу тривалості t_0

$$i_2(t) = I [1(t) - 1(t - t_0)], \quad (2.28)$$

де : $1(t)$, $1(t - t_0)$ – функції Хевісайда [5]; $I = \text{const}$.

У першому випадку підстановка (2.27) у (2.26) приводить до виразу :

$$\theta_1(t) = 4KI^2(hR)^2R^2a^{-1} \sum_{n=1}^{\infty} [\mu_n^4[(hR)^2 + \mu_n^2]]^{-1} \times [1 - \exp(-a(\frac{\mu_n}{R})^2t)], \quad (2.29)$$

а врахування (2.28) у виразі (2.26) трансформує його так:

$$\begin{aligned} \theta_2(t) = 4KI^2(hR)^2R^2a^{-1} [\sum_{n=1}^{\infty} [\mu_n^4[(hR)^2 + \mu_n^2]]^{-1} \times [1 - \\ \exp(-a(\frac{\mu_n}{R})^2t)] 1(t) - \sum_{n=1}^{\infty} [\mu_n^4[(hR)^2t\mu_n^2]]^{-1} \times [1 - \exp(-a(\frac{\mu_n}{R})^2(t - \\ t_0))] 1(t - t_0)]. \end{aligned} \quad (2.30)$$

Використання виразу (2.26), який описує теплові процеси в терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача при протіканні по ньому електричного струму $i(t)$, дає змогу одержати його основні технічні характеристики, зокрема передаточну функцію, динамічні характеристики та часові параметри.

2.2. Моделі в класі передаточних функцій

Вираз (2.26) є загальним виразом для температури терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача, яка обумовлена тепловою дією електричного струму $i(t)$, що протікає через цей чутливий елемент. Але при вирішенні інженерних задач не завжди є ефективним використання такого представлення температурної залежності. Маючи на увазі, що пожежний сповіщувач є динамічним елементом системи виявлення небезпечних чинників пожежі [87], доцільно представити модель терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача у вигляді передаточної функції [5,83]

$$W(p) = L[\theta(t)][L[i^2(t)]]^{-1}, \quad (2.31)$$

де : L – оператор інтегрального перетворення Лапласа; p – комплексна змінна.

Якщо скористатися виразами (2.27) та (2.29), то можна записати [5]

$$L[\theta(t)] = 4KI^2(hR)^2R^2(ap)^{-1} \sum_{n=1}^{\infty} [\mu_n^4[(hR)^2t\mu_n^2]] \times [(R\mu_n^{-1})^2a^{-1}p + 1]^{-1}, \quad (2.32)$$

$$L[i^2(t)] = I^2p^{-1}, \quad (2.33)$$

Після об'єднання виразів (2.31)–(2.33) отримаємо вираз для передаточної функції у вигляді [83]

$$W(p) = 4K(hR)^2 \sum_{n=1}^{\infty} \tau_n [\mu_n^2 [(hR)^2 + \mu_n^2] (\tau_n p + 1)]^{-1}, \quad (2.34)$$

де: τ_n – n -та постійна часу, яка описується виразом :

$$\tau_n = (R\mu_n^{-1})^2 a^{-1}. \quad (2.35)$$

Якщо врахувати, що добуток hR представляє собою число Біо Bi , то вираз можна записати так :

$$W(p) = 4K \sum_{n=1}^{\infty} A_n \tau_n (\tau_n p + 1)^{-1}, \quad (2.36)$$

де: A_n – n -й приведений коефіцієнт передачі терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача, який має опис виду:

$$A_n = (Bi)^2 [\mu_n^2 [(Bi)^2 + \mu_n^2]]^{-1}. \quad (2.37)$$

У табл. 2.1 для $Bi \leq 1,0$ наведено значення коренів μ_n [78].

Таблиця 2.1

Значення коренів μ_n

Bi	μ_1	μ_2	μ_3
0	0,0000	3,8317	7,0156
0,1	0,4417	3,8577	7,0298
0,2	0,6170	3,8835	7,0440
0,3	0,7465	3,9091	7,0582
0,4	0,8516	3,9344	7,0723
0,5	0,9408	3,9594	7,0864
0,6	1,0184	3,9841	7,1004
0,7	1,0873	4,0085	7,1143
0,8	1,1490	4,0325	7,1282
0,9	1,2048	4,0562	7,1421
1,0	1,2558	4,0795	7,1558

Варто зазначити, що ряд (2.37) швидко сходиться. Так, наприклад, при $Bi = 1,0$ величина коефіцієнта A_2 становить 1,2 % від величини коефіцієнта A_1 , а величина коефіцієнта A_3 становить 0,15 % від величини коефіцієнта A_1 . Внаслідок

цього із похибкою, величина якої не перевищує 1,2 %, вираз для передаточної функції терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача (2.36) буде мати вигляд :

$$W(p) = 4KA\tau(\tau p + 1)^{-1}, \quad (2.38)$$

де: τ – часовий параметр (постійна часу), який описується виразом:

$$\tau = \tau_1 = (R\mu_1^{-1})^2 a^{-1}, \quad (2.39)$$

A – приведений коефіцієнт передачі, який описується виразом:

$$A = A_1 = (Bi)^2 [\mu_1^2 [(Bi)^2 + \mu_1^2]]^{-1}. \quad (2.40)$$

Із табл. 2.1 також впливає, що величина кореня μ_1 залежить від числа Bi . Апроксимація даних табл. 2.1 поліноміальною залежністю із використанням пакета *Maple* дає такий результат:

$$\begin{aligned} \mu_1 = & 2094.356260 Bi^9 - 10615.07936 Bi^8 + 23082.01057 Bi^7 - 28124.99999 Bi^6 + \\ & + 21037.73148 Bi^5 - 9946.458330 Bi^4 + 2947.796516 Bi^3 - 524.2123014 Bi^2 + \\ & + 51.74515872 Bi - 1.630000000. \end{aligned} \quad (2.41)$$

На рис. 2.1 показано графічну залежність $\mu_1 = \mu_1(Bi)$, яка відповідає виразу (2.41).

μ_1

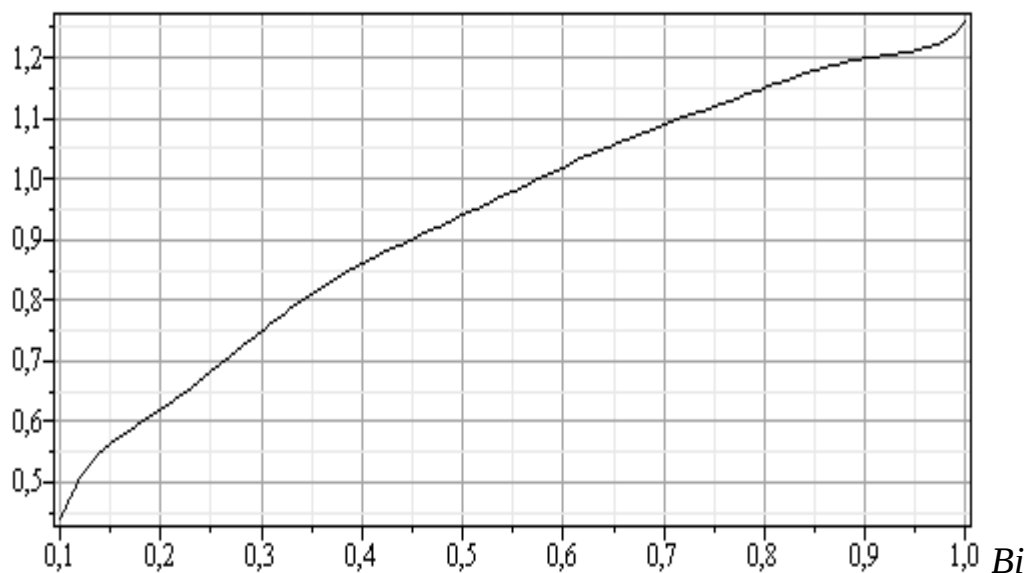
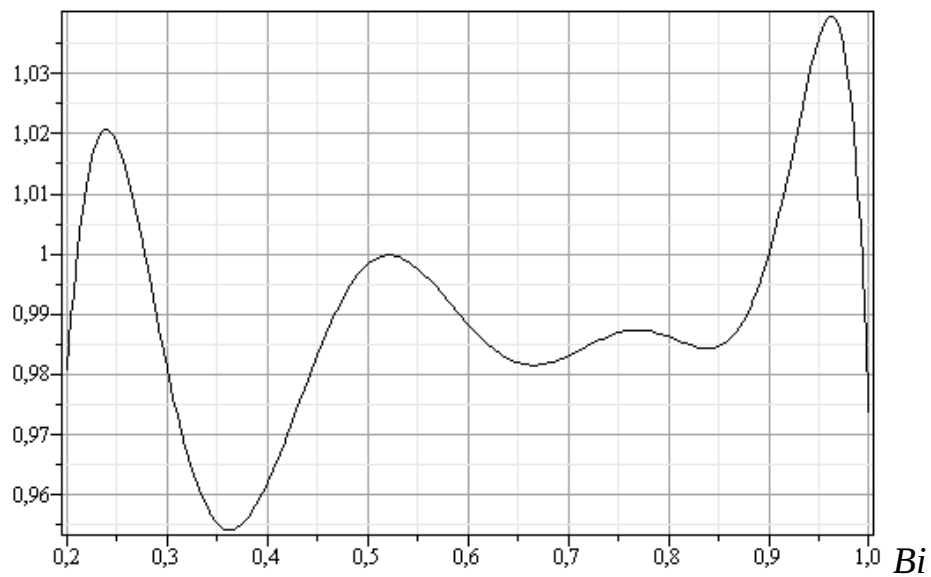


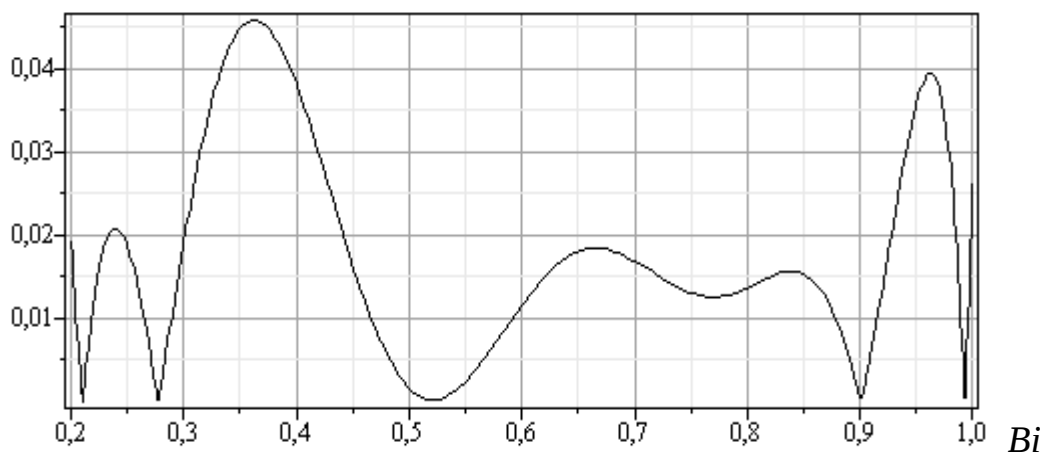
Рисунок 2.1 – Залежність $\mu_1 = \mu_1(Bi)$

Із використанням залежності (2.41) побудована залежність $4A = \varphi(Bi)$ (рис. 2.2.)

4A

Рисунок 2.2 – Залежність $4A = \varphi(Bi)$

Аналіз залежності, представленої на рис. 2.2, свідчить про те, що в інтервалі $0,2 \leq Bi \leq 1,0$ величину $4A$ можна прийняти рівною одиниці. Величина похибки при цьому не буде перевищувати 4,6 %, як це впливає з рис. 2.3, на якому показано залежність модуля відносної похибки неузгодженості δ між функцією $4A$ та одиницею.

 $mod(\delta)$ Рисунок 2.3 – Залежність $mod(\delta) = f(Bi)$

Якщо покласти $4A = 1,0$, то вираз (2.38) буде трансформований так :

$$W(p) = K\tau(\tau p + 1)^{-1}. \quad (2.42)$$

Постійна часу τ , як це впливає із (2.39), через величину μ_1 залежить від числа Bi . На рис. 2.4 наведено графічну залежність $\tau a R^{-2} = \varphi(Bi)$.

$\tau a R^{-2}$

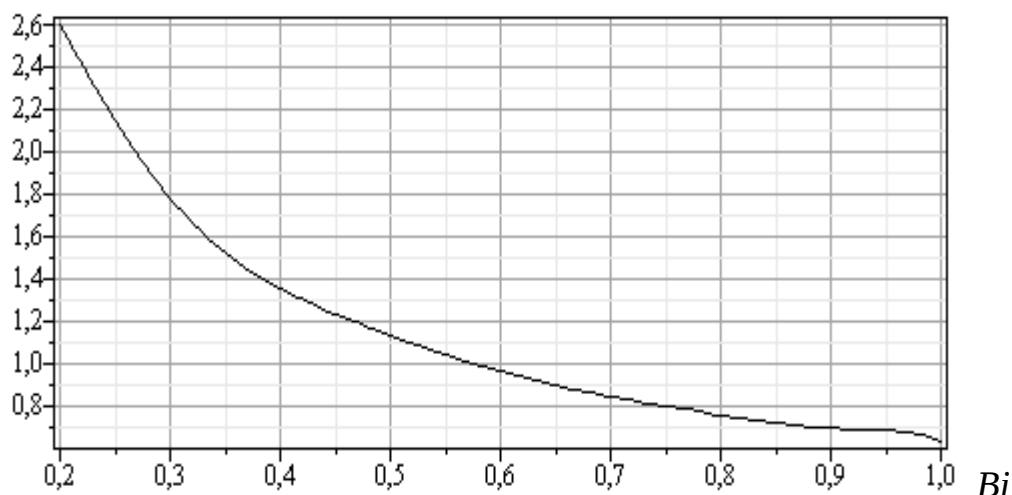


Рисунок 2.4 – Залежність $\tau a R^{-2} = \varphi(Bi)$

Відзначимо, що наявність математичної моделі терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача у вигляді передаточної функції (2.42), до якої входить такий часовий параметр, як постійна часу, відкриває можливості для використання методів імітаційного моделювання, зокрема основаних на реалізації технології Drag-and-Drop [88, 89].

Висновки до другого розділу

1. Показано, що теплові процеси в терморезистивному чутливому елементі пожежних сповіщувачів при протіканні через нього електричного струму описуються неоднорідним рівнянням математичної фізики із граничними умовами третього роду.

2. Для вирішення диференційного рівняння, яке описує теплові процеси в терморезистивному чутливому елементі пожежних сповіщувачів, використовується інтегральне перетворення Ханкеля.

3. За допомогою формули звернення одержаний загальний вираз для температури терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів за умови протікання через нього електричного струму без обмежень на його параметри. Цей вираз представлено у вигляді ряду функцій Бесселя, який швидко сходиться.

4. Внаслідок малих розмірів чутливого елемента пожежних сповіщувачів вираз для його температури представлено у вигляді усередненої по об'єму чутливого елемента величини.

5. Одержаний загальний вираз для температури терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів дає можливість отримувати його основні технічні характеристики, а також є основою для переходу до інших його математичних описів.

6. Із використанням інтегрального перетворення Лапласа одержано вираз для передаточної функції терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів і показано, що з похибкою, величина якої не перевищує 4,6 %, вона описується передаточною функцією аперіодичної ланки першого порядку.

7. Показано, що коефіцієнт передачі терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів містить дві мультиплікативні складові, перша з яких визначається фізичними параметрами чутливого елемента, а друга є його постійною часу.

8. Наявність моделі терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів у вигляді передаточної функції відкриває можливості для використання методів класичної теорії автоматичного регулювання, а також для створення імітаційних моделей, зокрема основаних на реалізації технології Drag-and-Drop.

РОЗДІЛ 3. ТЕПЛОВА ДІЯ ІМПУЛЬСІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА ТЕРМОРЕЗИСТИВНИЙ ЧУТЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА

3.1. Класифікація одиночних імпульсів електричного струму

Розглянемо реакцію терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію електричного струму для випадків, коли через чутливий елемент протікають одиночні імпульси електричного струму. У ролі таких імпульсів електричного струму будемо розглядати імпульси, які можуть бути просто реалізовані технічно.

На рис. 3.1 наведено класифікацію імпульсів електричного струму, що використовуються як тест-сигнали при розгляді реакції терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію електричного струму.

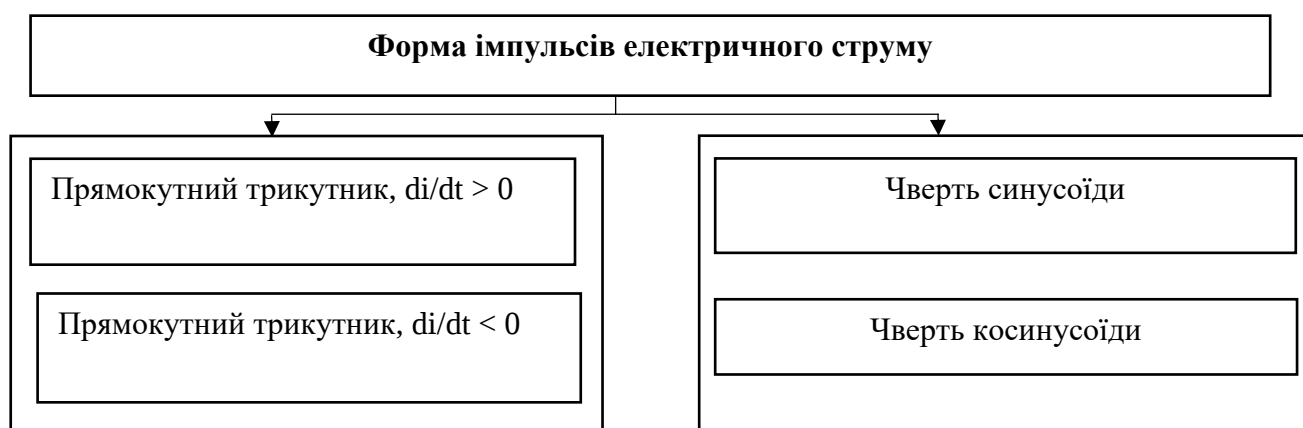


Рисунок 3.1 – Класифікація одиночних імпульсів електричного струму

Для кожного з імпульсів електричного струму, форма яких наведена на рис. 3.1, визначимо вихідний сигнал терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача, який представляє його реакцію на теплову дію електричного струму.

3.2. Теплова дія імпульсу електричного струму у вигляді чверті синусоїди

Імпульс електричного струму, форма якого має вигляд, наведений на рис. 3.2, описується виразом:

$$i(t) = I \sin \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)], \quad (3.1)$$

де I , t_0 – амплітуда і тривалість імпульсу електричного струму відповідно.

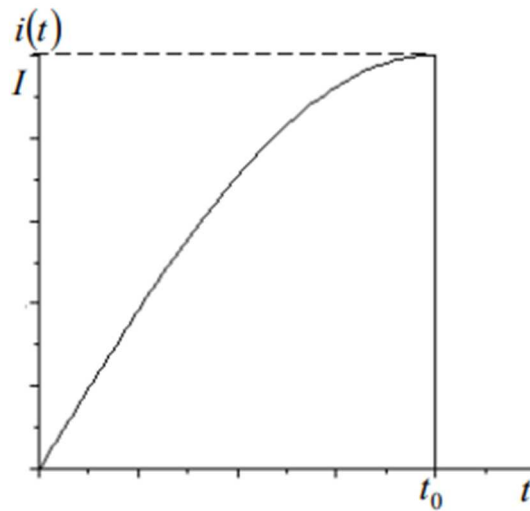


Рисунок 3.2 – Імпульс електричного струму чверть синусоїдальної форми

Згідно із законом Джоуля-Ленца теплові процеси в терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача будуть визначатись впливом, який має вигляд:

$$\varphi(t) = Ki^2(t) = KI^2 \sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)]. \quad (3.2)$$

Якщо цей вираз переписати так :

$$\begin{aligned} \varphi(t) = KI^2 \left[\sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} 1(t) - \sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} 1(t - t_0) \right] = KI^2 \left[\sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} 1(t) - \right. \\ \left. - \sin^2 \frac{\pi(t-t_0+t_0)}{2t_0} 1(t - t_0) \right], \end{aligned} \quad (3.3)$$

та врахувати співвідношення :

$$\sin \frac{\pi(t-t_0+t_0)}{2t_0} = \cos \frac{\pi(t-t_0)}{2t_0}, \quad (3.4)$$

то вираз (3.2) буде трансформовано до вигляду :

$$\varphi(t) = KI^2 \left[\sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} 1(t) - \cos^2 \frac{\pi(t-t_0)}{2t_0} 1(t-t_0) \right] = 0,5KI^2 \left[\left(1 - \cos \frac{\pi t}{t_0}\right) 1(t) - \left(1 + \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0}\right) 1(t-t_0) \right]. \quad (3.5)$$

Застосуємо до цього виразу інтегральне перетворення Лапласа, в результаті чого одержимо [90,91]

$$L[\varphi(t)] = 0,5KI^2 \left[\left(\frac{\pi t}{t_0}\right)^2 - [2p^2 + \left(\frac{\pi t}{t_0}\right)^2] \exp(-pt_0) \right] \times [p[p^2 + \left(\frac{\pi t}{t_0}\right)^2]]^{-1}. \quad (3.6)$$

Розподіл температури в терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача визначається виразом:

$$\theta(t) = L^{-1}[W(p)K^{-1}L[\varphi(t)]], \quad (3.7)$$

який можна записати так:

$$\theta(t) = 0,5KI^2 \tau L^{-1}[F_1(p)[F_2(p) - F_3(p)]], \quad (3.8)$$

де :

$$\begin{aligned} F_1(p) &= (\tau p + 1)^{-1}; F_2(p) = \left(\frac{\pi}{t_0}\right) [p[p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0}\right)^2]], \\ F_3(p) &= [2p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0}\right)^2] [p[p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0}\right)^2]]^{-1} \exp(-pt_0). \end{aligned} \quad (3.9)$$

Зворотне інтегральне перетворення для функцій (3.9) має вигляд [5,90]

$$f_1(t) = L^{-1}[F_1(p)] = \tau^{-1} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (3.10)$$

$$f_2(t) = L^{-1}[F_2(p)] = 1 - \cos \frac{\pi t}{t_0}, \quad (3.11)$$

$$f_3(t) = L^{-1}[F_3(p)] = 1 + \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0}. \quad (3.12)$$

Для визначення функції, яка описує розподіл температури в терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача, застосуємо теорему Бореля [84, 91], внаслідок чого вираз (3.8) можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} \theta(t) &= 0,5KI^2 \tau \left[\int_0^t f_1(t-\varepsilon) f_2(\varepsilon) d\varepsilon \times 1(t) - \int_{t_0}^t f_2(t-\varepsilon) f_3(\varepsilon) d\varepsilon \times 1(t-t_0) \right] = \\ &= 0,5KI^2 \left[\int_0^t \exp\left(-\frac{t-\varepsilon}{\tau}\right) \left(1 - \cos \frac{\pi \varepsilon}{t_0}\right) d\varepsilon \times 1(t) - \int_{t_0}^t \exp\left(-\frac{t-\varepsilon}{\tau}\right) \left(1 + \cos \frac{\pi(\varepsilon-t_0)}{t_0}\right) d\varepsilon \times 1(t-t_0) \right]. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Перепишемо перший інтеграл так:

$$I_1 = \tau^{-1} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \left[\int_0^t \exp\left(\frac{\varepsilon}{\tau}\right) d\varepsilon - \int_0^t \exp\left(\frac{\varepsilon}{\tau}\right) \cos \frac{\pi \varepsilon}{t_0} d\varepsilon \right], \quad (3.14)$$

внаслідок чого після інтегрування [85, 92] отримаємо:

$$I_1 = 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \left[t_0^2 \cos \frac{\pi t}{t_0} + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t}{t_0} - t_0^2 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] = 1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} [(\pi\tau)^2 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + t_0^2 \cos \frac{\pi t}{t_0} + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t}{t_0}]. \quad (3.15)$$

Другий інтеграл (3.13) запишемо у вигляді :

$$I_2 = \tau^{-2} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \left[\int_{t_0}^t \exp\left(\frac{\varepsilon}{\tau}\right) d\varepsilon + \int_{t_0}^t \exp\left(\frac{\varepsilon}{\tau}\right) \cos \frac{\pi(\varepsilon-t_0)}{t_0} d\varepsilon \right], \quad (3.16)$$

що після інтегрування [85, 92] трансформує його так:

$$I_2 = 1 - \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \left[t_0^2 \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) + t_0^2 \cos \frac{\pi t}{t_0} + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t}{t_0} \right]. \quad (3.17)$$

Якщо врахувати співвідношення:

$$\cos \frac{\pi t}{t_0} = -\cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0}; \quad \sin \frac{\pi t}{t_0} = -\sin \frac{\pi(t-t_0)}{t_0}, \quad (3.18)$$

то вираз (3.17) можна записати у вигляді:

$$I_2 = 1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} [(2t_0^2 + \pi\tau)^2] \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) - t_0^2 \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} - \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi(t-t_0)}{t_0}, \quad (3.19)$$

Після об'єднання виразів (3.13), (3.15) та (3.19) одержимо вираз для температури терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача [93]

$$\begin{aligned} \theta(t) = 0,5KI^2\tau & \left[[1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \left[(\pi\tau)^2 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + t_0^2 \cos \frac{\pi t}{t_0} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t}{t_0} \right] \right] 1(t) - [1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \times \left[[(\pi\tau)^2 + 2t_0^2] \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) - \right. \\ & \left. \left. - t_0^2 \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} - \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} \right] \right] 1(t-t_0) \right]. \quad (3.20) \end{aligned}$$

Графічну інтерпретацію залежностей $i(t)I^{-1}$, $[i(t)I^{-1}]^2$ та $2\theta(t)(KI^2)^{-1}$ наведено на рис. 3.3 та рис. 3.4 для $\tau = 0,5$ с, $t_0 = 4,0$ с та $\tau = 1,0$ с, $t_0 = 4,0$ с відповідно.

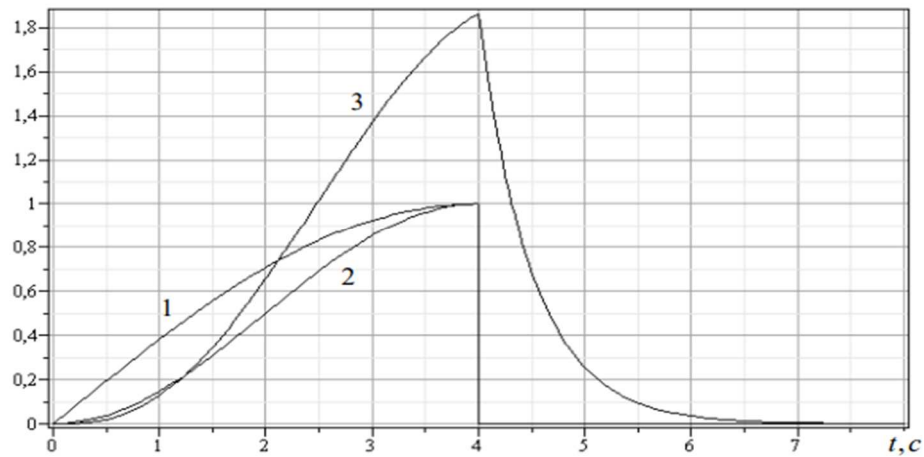


Рисунок 3.3 – Залежності: $1 - i(t)I^{-1}$; $2 - [i(t)I^{-1}]^2$; $3 - 2\theta(t)(KI^2)^{-1}$
для $\tau = 0,5$ с, $t_0 = 4,0$ с

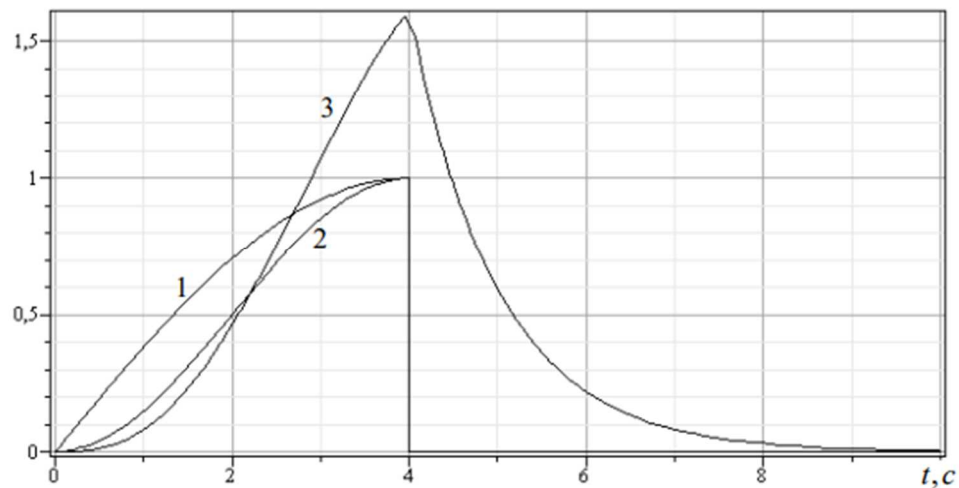


Рисунок 3.4 – Залежності: $1 - i(t)I^{-1}$; $2 - [i(t)I^{-1}]^2$; $3 - 2\theta(t)(KI^2)^{-1}$
для $\tau = 1,0$ с, $t_0 = 4,0$ с

Характерною особливістю в цьому випадку є те, що наявна стрибкоподібна зміна швидкості температури чутливого елемента (при $t = t_0$).

3.3. Теплова дія імпульсу електричного струму у вигляді чверті косинусоїди

При протіканні через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача імпульсу електричного струму, форма якого наведена на рис. 3.5 і який описується виразом:

$$i(t) = I \cos \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)], \quad (3.21)$$

його теплова дія згідно із законом Джоуля-Ленца буде визначатись квадратом електричного струму, тобто :

$$i^2(t) = I^2 \cos^2 \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)] = I^2 [\cos^2 \frac{\pi t}{2t_0} 1(t) - \cos^2 \frac{\pi(t-t_0+t_0)}{2t_0} 1(t - t_0)], \quad (3.22)$$

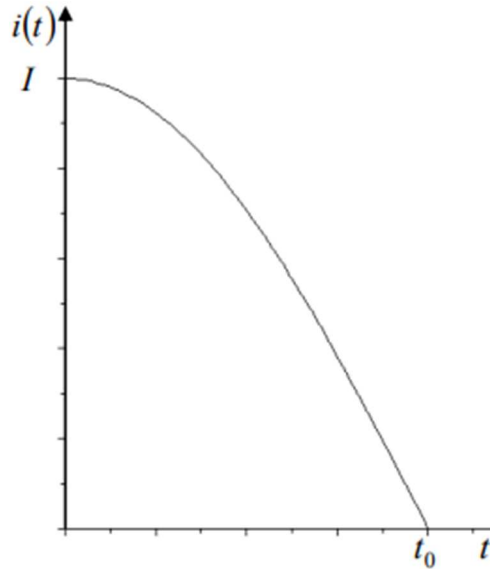


Рисунок 3.5. – Імпульс електричного струму чверть косинусоїдальної форми

Якщо врахувати співвідношення:

$$\cos^2 \frac{\pi t}{2t_0} = 0,5 \left(1 + \cos \frac{\pi t}{t_0} \right); \quad \cos \frac{\pi(t-t_0+t_0)}{t_0} = -\cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0}, \quad (3.23)$$

то вираз (3.22) буде трансформовано до вигляду:

$$i^2(t) = 0,5I^2 \left[\left(1 + \cos \frac{\pi t}{t_0} \right) 1(t) - \left(1 - \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} \right) 1(t - t_0) \right]. \quad (3.24)$$

Реакція терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію імпульсу електричного струму форми (3.21) буде описуватись виразом

$$\theta(t) = L^{-1} [W(p)L[i^2(t)]] , \quad (3.25)$$

де:

$$\begin{aligned} L[i^2(t)] &= 0,5I^2 [p^{-1} + p[p^2 + (\frac{\pi}{t_0})^{-1} - \left[p^{-1} - p \left[p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] \right] \times \exp(-pt_0)] = \\ &= 0,5I^2 [2p^2 + (\frac{\pi}{t_0})^2 [1 - \exp(-pt_0)]] \times [p[p^2 + (\frac{\pi}{t_0})^2]]^{-1} . \end{aligned} \quad (3.26)$$

Після об'єднання (3.25) та (3.26) вираз для $\theta(t)$ можна представити так:

$$\theta(t) = 0,5KI^2\tau L^{-1}[F_1(p)[F_2(p) - F_3(p)]], \quad (3.27)$$

де:

$$F_1(p) = (\tau p + 1)^{-1}; \quad (3.28)$$

$$F_2(p) = [2p^2 + (\frac{\pi}{t_0})^2][p[p^2 + (\frac{\pi}{t_0})^2]]^{-1}; \quad (3.29)$$

$$F_3(p) = (\frac{\pi}{t_0})^2 \exp(-pt_0)[p[p^2 + (\frac{\pi}{t_0})^2]]^{-1}. \quad (3.30)$$

Згідно з теоремою Бореля [91], реакція терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача матиме вигляд:

$$\theta(t) = 0,5KI^2\tau[\int_0^t f_1(t-\varepsilon)f_2(\varepsilon)d\varepsilon \times 1(t) - \int_{t_0}^t f_1(t-\varepsilon)f_3(\varepsilon)d\varepsilon \times 1(t-t_0)], \quad (3.31)$$

де:

$$f_1(t) = L^{-1}[F_1(p)] = \tau^{-1} \exp(-\frac{t}{\tau}); \quad (3.32)$$

$$f_2(t) = L^{-1}[F_2(p)] = 1 + \cos \frac{\pi t}{t_0}; \quad (3.33)$$

$$f_3(t) = L^{-1}[F_3(p)] = 1 - \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0}. \quad (3.34)$$

Враховуючи (3.32) та (3.33), перепишемо перший інтеграл у виразі (3.31) так:

$$I_1 = \tau^{-1} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \left[\int_0^t \exp\left(\frac{\varepsilon}{\tau}\right) d\varepsilon + \int_0^t \exp\left(\frac{\varepsilon}{\tau}\right) \cos \frac{\pi \varepsilon}{t_0} d\varepsilon \right], \quad (3.35)$$

внаслідок чого буде дійсним [92]

$$I_1 = 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \left[t_0^2 \cos \frac{\pi t}{t_0} + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t}{t_0} - t_0^2 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] = 1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \left[[2t_0^2 + (\pi\tau)^2] \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - t_0^2 \cos \frac{\pi t}{t_0} - \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t}{t_0} \right]. \quad (3.36)$$

Другий інтеграл (3.31) запишемо у вигляді :

$$I_2 = \tau^{-1} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \left[\int_{t_0}^t \exp\left(\frac{\varepsilon}{\tau}\right) d\varepsilon - \int_{t_0}^t \exp\left(\frac{\varepsilon}{\tau}\right) \cos \frac{\pi(\varepsilon-t_0)}{t_0} d\varepsilon \right].$$

що при врахуванні співвідношення (3.18) дає змогу записати його так :

$$I_2 = 1 - \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) + (t_0^2 + (\pi\tau)^2)^{-1} \left[t_0^2 \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) - t_0^2 \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} - \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} \right] = 1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \left[(\pi\tau)^2 \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) + t_0^2 \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} \right]. \quad (3.37)$$

Після об'єднання виразів (3.31), (3.36) та (3.37) температура терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача при тест-впливі електричного струму вигляду (3.21) буде описуватись виразом [93]

$$\theta(t) = 0,5KI^2\tau[[1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} \left[[2t_0^2 + (\pi\tau)^2] \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - t_0^2 \cos \frac{\pi t}{t_0} - \right. \\ \left. - \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t}{t_0} \right] 1(t) - [1 - [t_0^2 + (\pi\tau)^2]^{-1} [(\pi\tau)^2 \times \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) + t_0^2 \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} + \\ \left. \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} \right] \times 1(t - t_0)]. \quad (3.38)$$

На рис. 3.6–3.8 наведено графічну інтеграцію залежностей $i(t)I^{-1}$, $[i(t)I^{-1}]^2$ та $2\theta(t)(KI^2)^{-1}$.

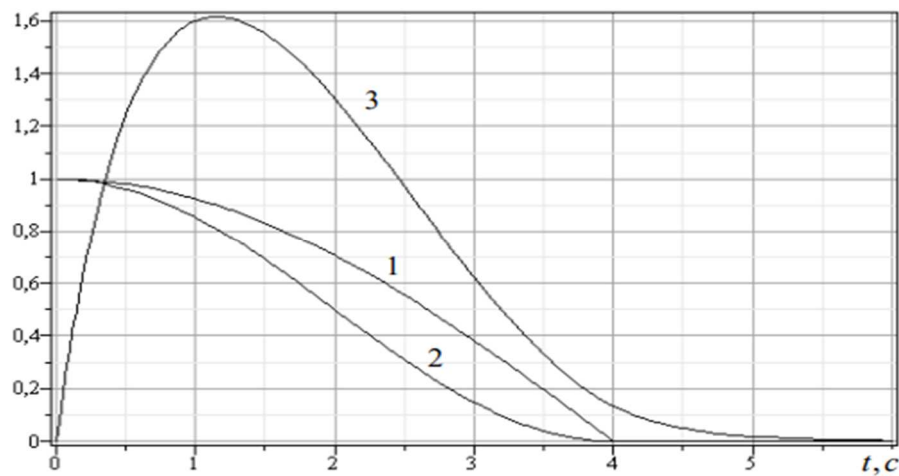


Рисунок 3.6 – Залежності: 1 – $i(t)I^{-1}$; 2 – $[i(t)I^{-1}]^2$; 3 – $2\theta(t)(KI^2)^{-1}$
для $\tau = 0,5$ с, $t_0 = 4,0$ с

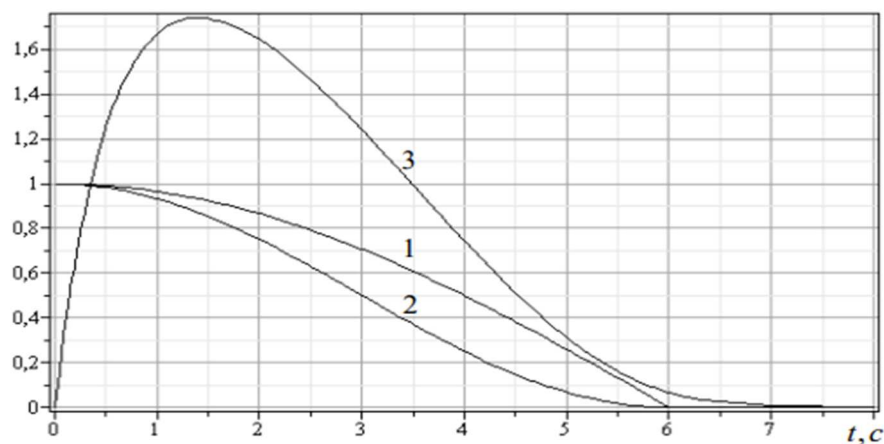


Рисунок 3.7 – Залежності: 1 – $i(t)I^{-1}$; 2 – $[i(t)I^{-1}]^2$; 3 – $2\theta(t)(KI^2)^{-1}$
для $\tau = 0,5$ с, $t_0 = 6,0$ с

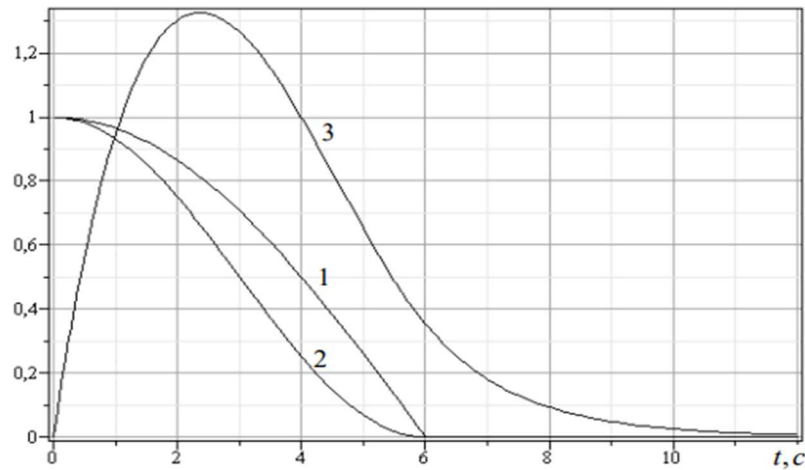


Рисунок 3.8 – Залежності: $1 - i(t)I^{-1}$; $2 - [I(t)I^{-1}]^2$; $3 - 2\theta(t)(KI^2)^{-1}$
для $\tau = 1,5$ с, $t_0 = 6,0$ с.

Розглянувши ці графічні залежності бачимо, що зі зростанням величини постійної часу терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача при постійній тривалості імпульсу електричного струму (рис. 3.7 та рис. 3.8) затулюється наближення температури цього чутливого елемента до постійної величини.

3.4. Теплова дія імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника ($\frac{di}{dt} > 0$)

Нехай через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача протікає імпульс електричного струму, який описується виразом:

$$i(t) = It_0^{-1}t[1(t) - 1(t - t_0)], \quad (3.39)$$

де I , t_0 – амплітуда і тривалість імпульсу електричного струму відповідно (рис. 3.9).

Вираз для $i^2(t)$ запишемо так :

$$\begin{aligned} i^2(t) &= (It_0^{-1})^2 t^2 [1(t) - 1(t - t_0)] = (It_0^{-1})^2 [t^2 \times 1(t) - (t - t_0 + t)^2 \times \\ &\times 1(t - t_0)] = (It_0^{-1})^2 [t^2 \times 1(t) - [(t - t_0)^2 + 2(t - t_0)t_0 + \\ &+ t_0^2] 1(t - t_0)]. \end{aligned} \quad (3.40)$$

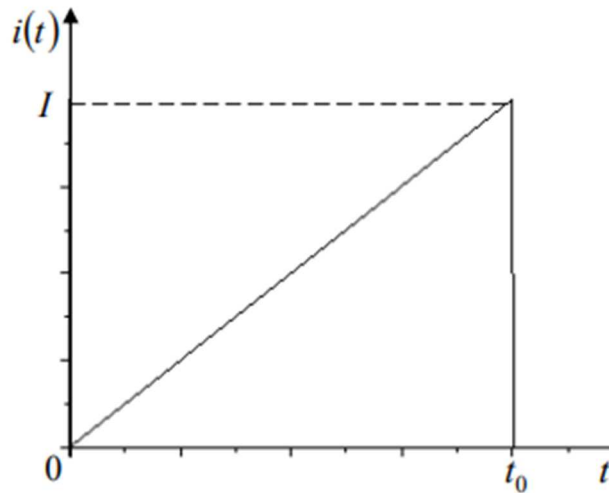


Рисунок 3.9 – Імпульс електричного струму трикутної форми ($\frac{di}{dt} > 0$)

Внаслідок протікання через терморезистивний чутливий елемент електричного струму у вигляді (3.39) в ньому відбуватиметься зміна температури, яка описується виразом:

$$\theta(t) = K\tau L^{-1}[(\tau p + 1)^{-1} L[i^2(t)]], \quad (3.41)$$

де:

$$L[i^2(t)] = (It_0^{-1})^2 [2[p^3(\tau p + 1)]^{-1} - [2[p^3(\tau p + 1)]^{-1} + 2t_0[p^2(\tau p + 1)]^{-1} + t_0^2[p(\tau p + 1)]^{-1} \exp(-pt_0)]. \quad (3.42)$$

Враховуючи те, що [90]

$$L^{-1}[2[p^3(\tau p + 1)]^{-1}] = t^2 - 2\tau t + 2\tau^2 [1 - \exp(-\frac{t}{\tau})]; \quad (3.43)$$

$$L^{-1}[2t_0[p^2(\tau p + 1)]^{-1}] = 2t_0[t - \tau [1 - \exp(-\frac{t}{\tau})]]; \quad (3.44)$$

$$L^{-1}[t_0^2[p(\tau p + 1)]^{-1}] = t_0^2 [1 - \exp(-\frac{t}{\tau})]. \quad (3.45)$$

Вираз для температури терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача набуває такого вигляду:

$$\begin{aligned} \theta(t) = K\tau (It_0^{-1})^2 & \left[[t^2 - 2\tau t + 2\tau^2] \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] 1(t) - [(t - t_0)^2 + \right. \\ & \left. + 2(t - t_0)(t_0 - \tau) + (2\tau^2 - 2\tau t_0 + t_0^2) \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) \right] 1(t - t_0) \right]. \end{aligned} \quad (3.46)$$

На рис. 3.10–3.12 наведено графічні залежності $i(t)t_0I^{-1}$, $[i(t)t_0I^{-1}]^2$ та $m\theta(t)[K(It_0^{-1})^2\tau]^{-1}$ для різних значень часових параметрів τ і t_0 , де m – масштаб.

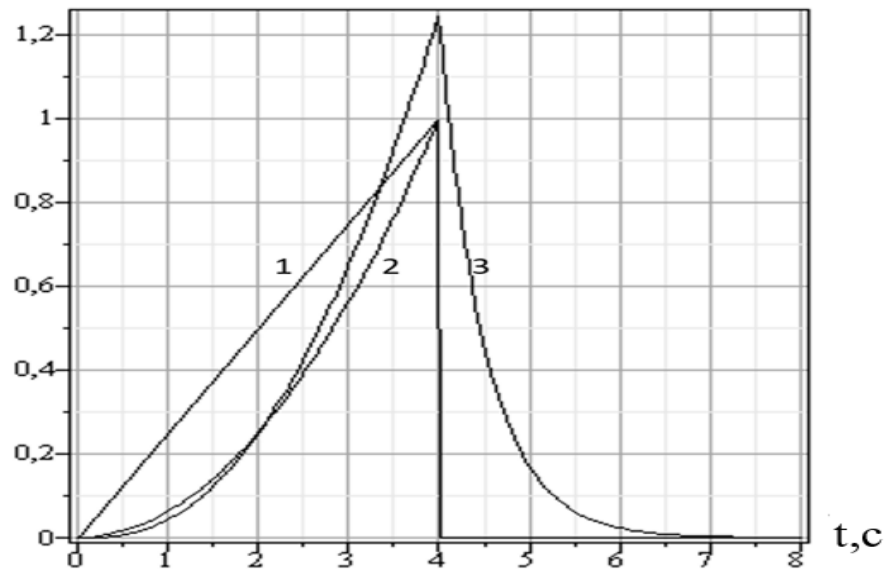


Рисунок 3.10 – Залежності: 1 – $i(t)t_0 I^{-1}$, 2 – $[i(t)t_0 I^{-1}]^2$, 3 – $m\theta(t)[K\tau(I t_0^{-1})^2]^{-1}$
при $m = 0,1$; $t_0 = 4,0$ с; $\tau = 0,5$ с

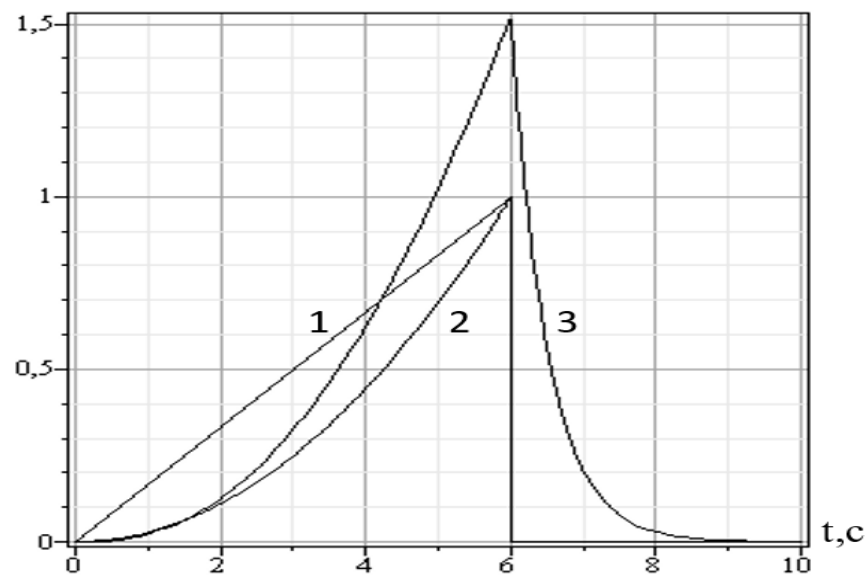


Рисунок 3.11 – Залежності: 1 – $i(t)t_0 I^{-1}$, 2 – $[i(t)t_0 I^{-1}]^2$, 3 – $m\theta(t)[K\tau(I t_0^{-1})^2]^{-1}$
при $m = 0,05$; $t_0 = 6,0$ с; $\tau = 0,5$ с

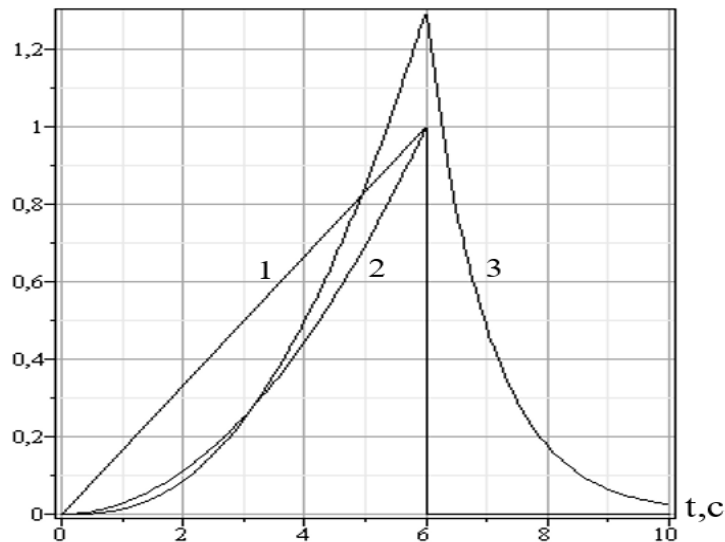


Рисунок 3.12 – Залежності: 1 – $i(t)t_0 I^{-1}$, 2 – $[i(t)t_0 I^{-1}]^2$, 3 – $m\theta(t)[K\tau(I t_0^{-1})^2]^{-1}$
при $m = 0,05$; $t_0 = 6,0$ с; $\tau = 1,0$ с

Аналіз цих залежностей свідчить, що співвідношення між величинами параметрів t_0 та τ суттєво впливають на характер і параметри розподілу температури в терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача. Цей вплив посилюється зі зростанням величини часового параметра пожежного сповіщувача.

3.5. Теплова дія імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника ($\frac{di}{dt} < 0$)

Якщо через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача протікає імпульс електричного струму, форма якого наведена на рис. 3.13, то його можна описати так:

$$i(t) = I(1 - tt_0^{-1}) [1(t) - 1(t - t_0)], \quad (3.47)$$

де I , t_0 – амплітуда і тривалість імпульсу електричного струму відповідно.

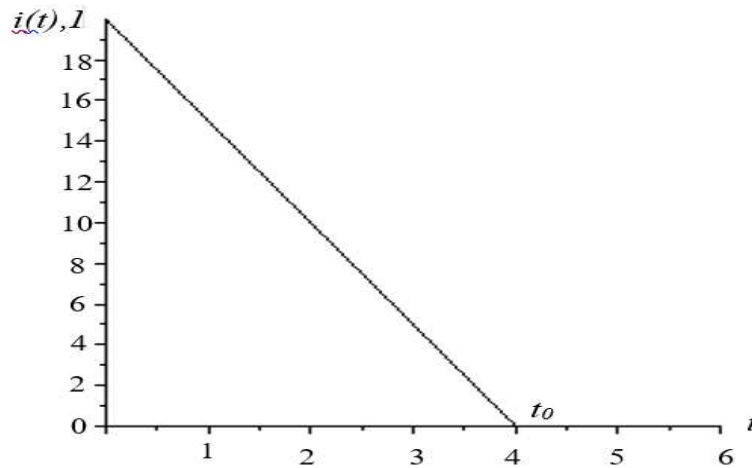


Рисунок 3.13 – Імпульс електричного струму трикутної форми ($\frac{di}{dt} < 0$)

Зведемо вираз (3.47) до квадрата, тобто :

$$i^2(t) = I^2(1 - tt_0^{-1})^2[1(t) - 1(t - t_0)]. \quad (3.48)$$

і перепишемо його так:

$$\begin{aligned} i^2(t) &= I^2[1 - 2tt_0^{-1} + (tt_0^{-1})^2][1(t) - 1(t - t_0)] = I^2[[1 - 2tt_0^{-1} + \\ &+ (tt_0^{-1})^2]1(t) - [1 - 2(t - t_0 + t_0)t_0^{-1} + (t - t_0 + t_0)^2t_0^{-2}]1(t - t_0)] = \\ &= (It_0^{-1})^2[(t^2 - 2t_0t + t_0^2)1(t) - (t - t_0)^21(t - t_0)]. \end{aligned} \quad (3.49)$$

Реакція терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію електричного струму у вигляді (3.47) описується виразом:

$$\theta(t) = K\tau L^{-1}[(\tau p + 1)^{-1}L[i^2(t)]] , \quad (3.50)$$

де [5]

$$L[i^2(t)] = (It_0^{-1})^2p^{-3}(p^2t_0^2 - 2pt_0 + 2)[1 - \exp(-pt_0)]. \quad (3.51)$$

Після об'єднання виразів (3.43) – (3.45), (3.50) і (3.51) вираз для температури терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача набуває вигляду [83]

$$\begin{aligned} \theta(t) &= K\tau(It_0^{-1})^2 \left[\left[(t_0^2 + 2t_0\tau + 2\tau^2) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] + t^2 - 2\tau t - 2t_0t \right] 1(t) - \right. \\ &\quad \left. - \left[(t - t_0)^2 - 2\tau(t - t_0) + 2\tau^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) \right] \right] 1(t - t_0) \right]. \end{aligned} \quad (3.52)$$

На рис. 3.14–3.16 наведено графічні залежності $i(t)I^{-1}$, $[i(t)t_0I^{-1}]^2$ та $m\theta(t)[K\tau(It_0^{-1})^2]^{-1}$, де m – масштаб.

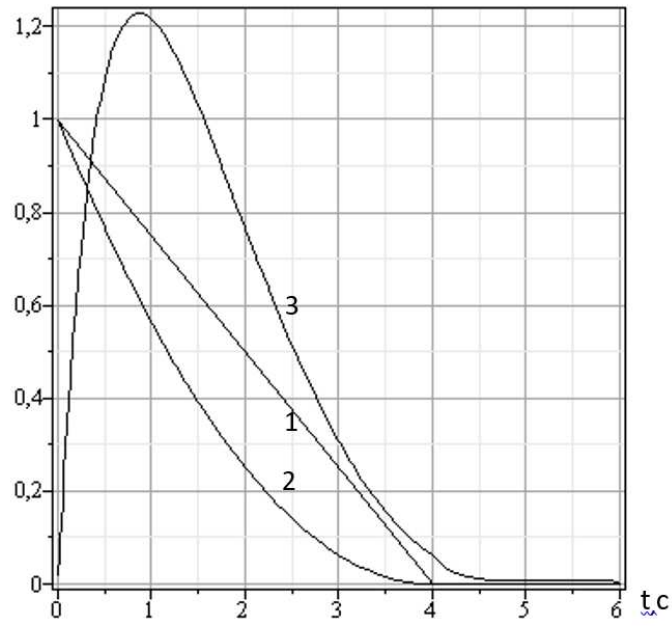


Рисунок 3.14 – Залежності: $1 - i(t)I^{-1}$; $2 - [i(t)t_0I^{-1}]^2$; $3 - m\theta(t)[K\tau(I t_0^{-1})^2]^{-1}$
при $m = 0,25$; $t_0 = 4,0$ с; $\tau = 0,5$ с

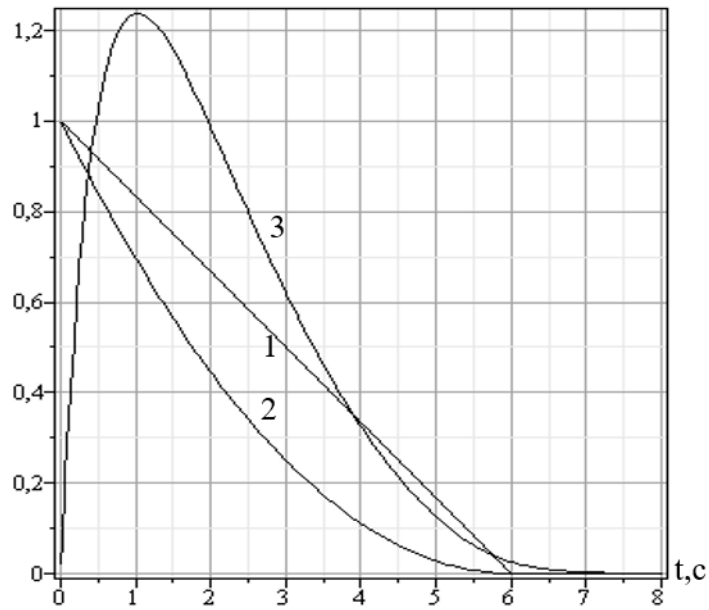


Рисунок 3.15 – Залежності: $1 - i(t)I^{-1}$; $2 - [i(t)t_0I^{-1}]^2$; $3 - m\theta(t)[K(I t_0^{-1})^2\tau]^{-1}$
при $m = 0,1$; $t_0 = 6,0$ с; $\tau = 0,5$ с

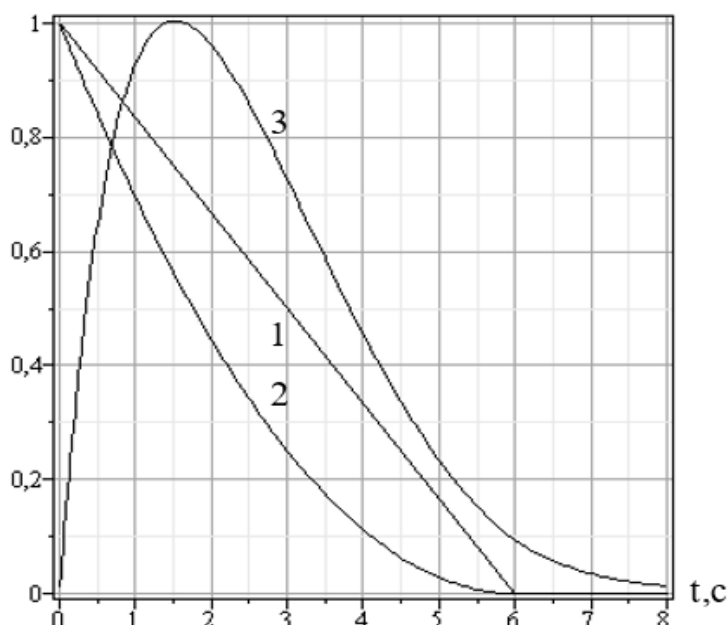


Рисунок 3.16 – Залежності: 1 – $i(t)I^{-1}$; 2 – $[i(t)t_0I^{-1}]^2$; 3 – $m\theta(t)[K(I t_0^{-1})^2\tau]^{-1}$
при $m = 0,1$; $t_0 = 6,0$ с; $\tau = 1,0$ с

Варто зазначити, що при використанні імпульсів електричного струму у вигляді (3.21) та (3.47) і при зміні температури терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача внаслідок теплової дії електричного струму відсутня стрибкоподібна зміна її швидкості, як це можемо спостерігати при використанні імпульсів електричного струму у вигляді (3.1) та (3.39).

Висновки до третього розділу

1. У ролі електричного струму, що протікає через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача, розглянуто одиночні імпульси електричного струму, параметри яких можуть бути просто реалізовані технічно. До таких імпульсів електричного струму належать імпульси, форма яких представляє:

- чверть синусоїди;
- чверть косинусоїди;
- прямокутний трикутник.

2. Із використанням передаточної функції терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів одержано математичні моделі для його реакції на теплову дію одиночних імпульсів електричного струму, що протікають через цей чутливий елемент.

3. Реакція терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів на теплову дію одиночних імпульсів електричного струму представлена у вигляді суперпозиції двох функцій Хевісайда, масштаб яких визначається параметрами терморезистивного чутливого елемента – коефіцієнтом передачі і постійною часу та параметрами імпульсів електричного струму – амплітудою і тривалістю.

4. Математичні моделі вихідних сигналів терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів при тепловій дії імпульсів електричного струму, що протікають через нього, є основою для визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

РОЗДІЛ 4. МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВОГО ПАРАМЕТРА ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА У ВИГЛЯДІ ЙОГО ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ

4.1. Умови та варіанти побудови методу визначення постійної часу пожежного сповіщувача

Вирази (3.20), (3.38), (3.46) та (3.52) є основою імпульсного методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Для моментів часу t_1 і t_2 , що належать інтервалу часу

$$t \geq 3\tau, \quad (4.1)$$

введемо до розгляду співвідношення [83, 93]

$$\theta(t_1)[\theta(t_2)]^{-1} = \alpha. \quad (4.2)$$

Варто відзначити, що для умов:

$$\frac{d\theta(t)}{dt} > 0, \quad t_1 < t_2, \quad (4.3)$$

є дійсним $\alpha < 1$, а для умов:

$$\frac{d\theta(t)}{dt} < 0, \quad t_1 < t_2, \quad (4.4)$$

є дійсним $\alpha > 1$.

При формуванні методу визначення такого часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом як постійна часу можливі чотири варіанти його реалізації:

- варіант 1, згідно з яким заданими є значення $\theta(t_1) = \theta_1$ та $\theta(t_2) = \theta_2$, а вимірюванню підлягають величини t_1 і t_2 ;
- варіант 2, для якого заданими є значення θ_1 і t_2 , а вимірюванню підлягають величини θ_2 і t_1 ;
- варіант 3, згідно з яким задані значення θ_2 і t_1 , а вимірюванню підлягають величини θ_1 і t_2 ;
- варіант 4, для якого задані значення t_1 і t_2 , а вимірюванню підлягають величини θ_1 і θ_2 .

Варто зазначити, що величина параметра α не залежить від величин K та I , як це впливає з виразів (4.2), (3.20), (3.38), (3.46) та (3.52).

4.2. Особливості моделей при використанні одиночного імпульсу електричного струму у вигляді чверті синусоїди

При протіканні через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача імпульсу електричного струму у вигляді (3.1) температура чутливого елемента буде змінюватись згідно з виразом (3.20). За умов (4.1) та (4.3) вираз (4.2) буде мати вигляд:

$$\theta(t_1)[\theta(t_2)]^{-1} = [t_0^2 + (\pi\tau)^2 - t_0^2 \cos \frac{\pi t_1}{t_0} - \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t_1}{t_0}] \times [t_0^2 + (\pi\tau)^2 - t_0^2 \cos \frac{\pi t_2}{t_0} - \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t_2}{t_0}]^{-1} = \alpha. \quad (4.5)$$

Із (4.5) випливає алгебраїчне рівняння для визначення часового параметра пожежного сповіщувача:

$$\pi^2(1 - \alpha)\tau^2 - \pi t_0 \left(\sin \frac{\pi t_1}{t_0} - \alpha \sin \frac{\pi t_2}{t_0} \right) \tau + t_0^2 \left[1 - \cos \frac{\pi t_1}{t_0} - \alpha \left(1 - \cos \frac{\pi t_2}{t_0} \right) \right] = 0. \quad (4.6)$$

Для варіанта 1 методу визначення часового параметра τ використовується вираз, який є коренем алгебраїчного рівняння (4.6), тобто:

$$\tau t_0^{-1} = [2\delta(1 - \alpha)]^{-1} \left[\sin \frac{\pi t_1}{t_0} - \alpha \sin \frac{\pi t_2}{t_0} - \left[\left(\sin \frac{\pi t_1}{t_0} - \alpha \sin \frac{\pi t_2}{t_0} \right)^2 - 4(1 - \alpha) \left[1 - \cos \frac{\pi t_1}{t_0} - \alpha \left(1 - \cos \frac{\pi t_2}{t_0} \right) \right] \right]^{0,5} \right]. \quad (4.7)$$

Цей вираз є чотирипараметричним (залежить від чотирьох параметрів – α , t_0 , t_1 та t_2).

При виборі $t_2 = 0,5t_0$ реалізується варіант 2, для якого використовується вираз

$$\tau t_0^{-1} = [2\pi(1 - \alpha)]^{-1} \left[\sin \frac{\pi t_1}{t_0} - \alpha - \left[\left(\sin \frac{\pi t_1}{t_0} - \alpha \right)^2 - 4(1 - \alpha) \left(1 - \alpha - \cos \frac{\pi t_1}{t_0} \right) \right]^{0,5} \right], \quad (4.8)$$

а при виборі $t_1 = 0,5t_0$ реалізується варіант 3, для якого є дійсним:

$$\tau t_0^{-1} = [2\pi(1 - \alpha)]^{-1} \left[1 - \alpha \sin \frac{\pi t_1}{t_0} - \left[\left(1 - \alpha \sin \frac{\pi t_2}{t_0} \right)^2 - 4(1 - \alpha) \left[1 - \alpha \left(1 - \cos \frac{\pi t_2}{t_0} \right) \right] \right]^{0,5} \right]. \quad (4.9)$$

Вирази (4.8) та (4.9) є трипараметричними і мають простіший вигляд, ніж (4.7).

Зменшити кількість параметрів до двох дає змогу реалізація варіанта 4, для якого слід покласти $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$, внаслідок чого вираз для визначення часового параметра τ набуде вигляд [67]

$$\tau t_0^{-1} = [2\pi(1 - \alpha)]^{-1} [1 - 0,7\alpha - (9,4\alpha - 6,3\alpha^2 - 3)^{0,5}]. \quad (4.10)$$

Цей вираз має найпростіший вигляд і залежить від мінімальної кількості параметрів, якщо порівнювати з варіантами 1–3.

Для визначення діапазону, якому належить величина параметра α , потрібно взяти до уваги умови:

$$1 - 0,7\alpha \geq (9,4\alpha - 6,3\alpha^2 - 3)^{0,5}, \quad (4.11)$$

$$9,4\alpha - \alpha^2 - 3 \geq 0, \quad (4.12)$$

$$\alpha < 1. \quad (4.13)$$

Цим умовам відповідає діапазон зміни величини α :

$$0,46 < \alpha < 0,58. \quad (4.14)$$

Реалізація методу визначення часового параметра τ пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом зводиться до використання виразу (4.10) або його графічної інтерпретації – номограми, що наведена на рис. 4.1.

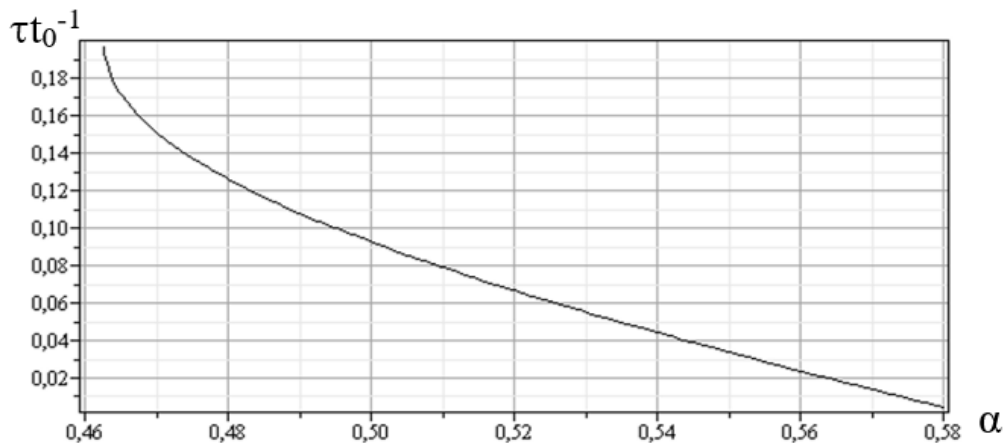


Рисунок 4.1 – Номограма для визначення часового параметра пожежного сповіщувача

Приклад. Імпульс електричного струму має тривалість $t_0 = 4,0$ с. Для параметрів t_1 і t_2 це буде $t_1 = 2,0$ с, $t_2 = 3,0$ с. Із рис. 3.3 випливає, що $\alpha = 0,48$. Відповідно до номограми (рис. 4.1) такому значенню величини α відповідає $\pi t_0^{-1} = 0,126$, тобто $\tau = 0,126 \times 4,0 = 0,504$ с. Похибка визначення величини τ становить 0,8 %.

4.3. Особливості моделей при використанні одиночного імпульсу електричного струму у вигляді чверті косинусоїди

При використанні в ролі тест-впливу електричного струму у вигляді одиночного імпульсу, вираз для якого має вигляд (3.21), температура терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача буде змінюватись відповідно до (3.38). За умов (4.1) та (4.4) для (4.2) буде дійсним:

$$\begin{aligned} \theta(t_1)[\theta(t_2)]^{-1} &= [t_0^2 + (\pi\tau)^2 + t_0^2 \cos \frac{\pi t_1}{t_0} + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t_1}{t_0}] \times \\ &\times [t_0^2 + (\pi\tau)^2 + t_0^2 \cos \frac{\pi t_2}{t_0} + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t_2}{t_0}]^{-1} = \alpha. \end{aligned} \quad (4.15)$$

Величина часового параметра τ визначається коренем алгебраїчного рівняння:

$$\begin{aligned} \pi^2(\alpha - 1)\tau^2 + \pi t_0 \left(\alpha \sin \frac{\pi t_2}{t_0} - \sin \frac{\pi t_1}{t_0} \right) \tau + t_0^2 \left[\alpha \left(1 + \cos \frac{\pi t_2}{t_0} \right) - \left(\cos \frac{\pi t_2}{t_0} \right) - \right. \\ \left. - \left(1 + \cos \frac{\pi t_1}{t_0} \right) \right] = 0. \end{aligned} \quad (4.16)$$

Для варіанта 1 визначення часового параметра пожежного сповіщувача з терморезистивним чутливим елементом використовується вираз:

$$\begin{aligned} \tau t_0^{-1} &= [2\pi(\alpha - 1)]^{-1} \left[\sin \frac{\pi t_1}{t_0} - \alpha \sin \frac{\pi t_2}{t_0} \right] + [(\sin \frac{\pi t_1}{t_0} - \alpha \sin \frac{\pi t_2}{t_0})^2 - 4(\alpha - \\ &- 1) \left[\alpha \left(1 + \cos \frac{\pi t_2}{t_0} \right) - \left(1 + \cos \frac{\pi t_1}{t_0} \right) \right]]^{0,5}. \end{aligned} \quad (4.17)$$

Цей вираз є чотирипараметричним. Для зменшення кількості параметрів до мінімуму варто покласти $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$, внаслідок чого вираз (4.17) буде трансформовано до вигляду [67]

$$\tau t_0^{-1} = [2\pi(\alpha - 1)]^{-1} [1 - 0,7\alpha + (3,8\alpha - 0,7\alpha^2 - 3)^{0,5}], \quad (4.18)$$

Діапазон зміни величини параметра α визначається з використанням умов

$$1 - 0,7\alpha + (3,8\alpha - 0,7\alpha^2 - 3)^{0,5} > 0 ; \quad (4.19)$$

$$3,8\alpha - 0,7\alpha^2 - 3 \geq 0; \quad (4.20)$$

$$\alpha > 1 . \quad (4.21)$$

Цим умовам відповідає діапазон зміни величини параметра α

$$1 < \alpha < 3,34. \quad (4.22)$$

Реалізація методу визначення часового параметра – постійної часу пожежного сповіщувача з терморезистивним чутливим елементом, у цьому випадку зводиться до використання виразу (4.18) або його графічної інтерпретації – номограми, яка наведена на рис. 4.2.

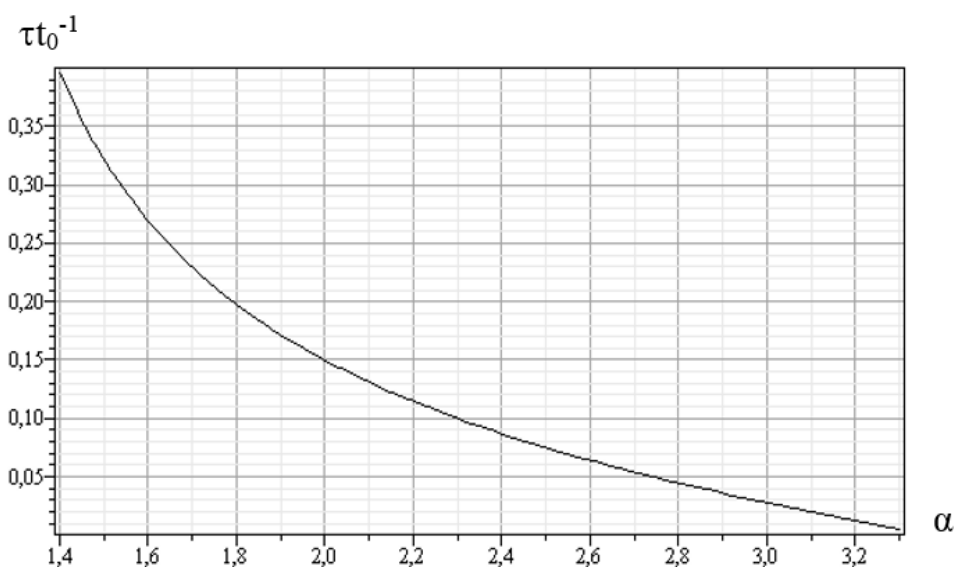


Рисунок 4.2 – Номограма для визначення часового параметра пожежного сповіщувача

Приклад. Імпульс електричного струму має тривалість $t_0 = 4,0$ с. Параметрам $t_1 = 2,0$ с і $t_2 = 3,0$ с з рис. 3.6 відповідає $\alpha = 2,11$. Відповідно до номограми (рис. 4.2) такому значенню величини α відповідає $\pi_0^{-1} = 0,126$, внаслідок чого запишемо $\tau = 0,126 \times 4,0 = 0,504$ с. Похибка визначення величини часового параметра становить 0,8 %.

4.4. Особливості моделей при використанні одиночного імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника ($\frac{di}{dt} > 0$)

Протікання електричного струму через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача у вигляді імпульсу, який описується виразом (3.39), його теплова дія приводить до зміни температури, яка описана у вигляді (3.46).

Враховуючи умови (4.1) та (4.3) для виразу (4.2) дійсним буде:

$$\theta(t_1)[\theta(t_2)]^{-1} = (t_1^2 - 2\tau t_1 + 2\tau^2)(t_2^2 - 2\tau t_2 + 2\tau^2)^{-1} = \alpha. \quad (4.23)$$

Із цього виразу випливає алгебраїчне рівняння для визначення величини часового параметра τ пожежного сповіщувача, яке має вигляд:

$$2(1 - \alpha)\tau^2 - 2(t_1 - \alpha t_2)\tau + t_1^2 - \alpha t_2^2 = 0. \quad (4.24)$$

Величина часового параметра τ , згідно з варіантом 1, визначається коренем алгебраїчного рівняння (4.24)

$$\tau = [2(1 - \alpha)]^{-1}[t_1 - \alpha t_2 - [2\alpha(t_1^2 + t_2^2 - t_1 t_2) - t_1^2 - (\alpha t_2)^2]^{0,5}]. \quad (4.25)$$

Варто зазначити, що цей вираз, на відміну від виразів (4.9) та (4.17), є трипараметричним.

Для варіанта 2 при $t_2 = 0,75t_0$ буде дійсним:

$$\tau t_0^{-1} = [2(1 - \alpha)]^{-1}[t_1 t_0^{-1} - 0,75\alpha - [2\alpha[t_1 t_0^{-1}]^2 + 0,56 - 0,75t_1 t_0^{-1}] - (t_1 t_0^{-1})^2 - 0,56\alpha^2]^{0,5}, \quad (4.26)$$

а для варіанта 3 при $t_1 = 0,5t_0$ вираз (4.25) набуває вигляду:

$$\tau t_0^{-1} = [2(1 - \alpha)]^{-1}[0,5 - \alpha t_2 t_0^{-1} - [2\alpha[0,25 + (t_2 t_0^{-1})^2 - 0,5t_2] - 0,25 - (\alpha t_2 t_0^{-1})^2]^{0,5}]. \quad (4.27)$$

При $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$ одержимо вираз для визначення часового параметра τ згідно з варіантом 4. Цей вираз має вигляд:

$$\tau t_0^{-1} = [4(1 - \alpha)]^{-1}[1 - 1,5\alpha - (3,5\alpha - 2,25\alpha^2 - 1)^{0,5}]. \quad (4.28)$$

і залежить від двох параметрів.

Діапазон зміни величини параметра τ визначається з використанням умов:

$$1 - 1,5\alpha \geq (3,5\alpha - 2,25\alpha^2 - 1)^{0,5}; \quad (4.29)$$

$$3,5\alpha - 2,25\alpha^2 - 1 \geq 0; \quad (4.30)$$

$$\alpha < 1. \quad (4.31)$$

Для умов (4.29)–(4.31) діапазон зміни величини становить:

$$0,38 < \alpha < 0,445. \quad (4.32)$$

На рис. 4.3 наведено номограму, яка побудована згідно з (4.28).

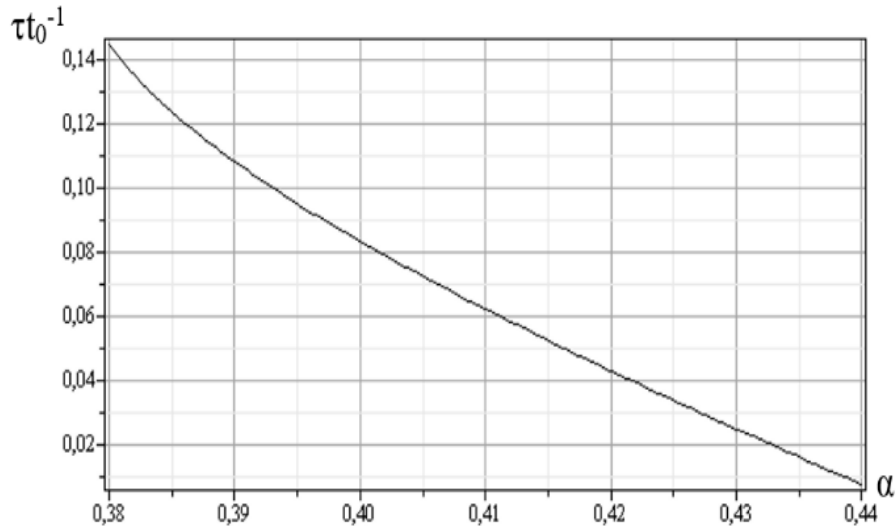


Рисунок 4.3 – Номограма для визначення часового параметра пожежного сповіщувача

Приклад. Тривалість імпульсу електричного струму становить 4,0 с. При $t_1 = 2,0$ с та $t_2 = 3,0$ с з рис. 3.10 випливає, що $\alpha = 0,384$. Такому значенню параметра α відповідає величина $\tau t_0^{-1} = 0,125$ (рис. 4.3), внаслідок чого маємо $\tau = 0,125 \times 4,0 = 0,5$ с. Похибка визначення часового параметра пожежного сповіщувача відсутня.

4.5. Особливості моделей при використанні одиночного імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника ($\frac{di}{dt} < 0$)

При протіканні електричного струму через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача у вигляді (3.47) внаслідок його теплової дії температура чутливого елемента буде змінюватись згідно з виразом (3.52). Враховуючи умови (4.1) та (4.4), вираз (4.2) набуде вигляду:

$$\theta(t_1)[\theta(t_2)]^{-1} = [2\tau^2 - 2(t_1 - t_0)\tau - (t_1 - t_0)^2][2\tau^2 - 2(t_2 - t_0)\tau -$$

$$-(t_2 - t_0)^2]^{-1} = \alpha, \quad (4.33)$$

з якого випливає алгебраїчне рівняння відносно часового параметра τ :

$$2(\alpha - 1)\tau^2 - 2[\alpha(t_2 - t_0) - (t_1 - t_0)]\tau + \alpha(t_2 - t_0)^2 - (t_1 - t_0)^2 = 0. \quad (4.34)$$

Корені цього алгебраїчного рівняння визначаються виразом :

$$\tau = [2(\alpha - 1)]^{-1}[\alpha(t_2 - t_0) - (t_1 - t_0) \pm [2\alpha[t_1 - t_0]^2 + (t_2 - t_0)^2] - [\alpha(t_2 - t_0) + (t_1 - t_0)]^2]^{0,5}. \quad (4.35)$$

Із фізичних міркувань у цьому виразі перед коренем квадратним потрібно вибирати знак «+». За цих умов вираз буде визначати варіант 1 для реалізації методу визначення часового параметра пожежного сповіщувача.

Для реалізації варіанта 2 потрібно покласти в (4.35) $t_2 = 0,75t_0$, внаслідок чого одержимо :

$$\tau t_0^{-1} = [2(\alpha - 1)]^{-1}[1 - t_1 t_0^{-1} - 0,25\alpha + [2\alpha[(t_1 t_0^{-1} - 1) + 0,0625] - [t_1 t_0^{-1} - 1 - 0,25\alpha]^2]^{0,5}], \quad (4.36)$$

а для реалізації варіанта 3 в (4.35) слід покласти $t_1 = 0,5t_0$, внаслідок чого дійсним буде вираз:

$$\tau t_0^{-1} = [2(\alpha - 1)]^{-1}[0,5 + \alpha(t_2 t_0^{-1} - 1) + [2\alpha[t_2 t_0^{-1} - 0,75] - [\alpha(t_2 t_0^{-1} - 1) - 0,5]^2]^{0,5}]. \quad (4.37)$$

Для варіанта 4 $t_1 = 0,5t_0$, $t_2 = 0,75t_0$, внаслідок чого маємо [83]

$$\tau t_0^{-1} = [8(\alpha - 1)]^{-1}[2 - \alpha + (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5}]. \quad (4.38)$$

Цей вираз є двопараметричним і має простіший вигляд у порівнянні з (4.35)–(4.37).

Діапазон зміни величини параметра α визначається з використанням умов

$$\alpha - 2 \geq (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5}; \quad (4.39)$$

$$6\alpha - \alpha^2 - 4 \geq 0; \quad (4.40)$$

$$\alpha > 1. \quad (4.41)$$

Таким умовам відповідає діапазон:

$$1 < \alpha < 4. \quad (4.42)$$

На рис. 4.4 наведено номограму для визначення часового параметра τ , яка побудована відповідно до (4.38).

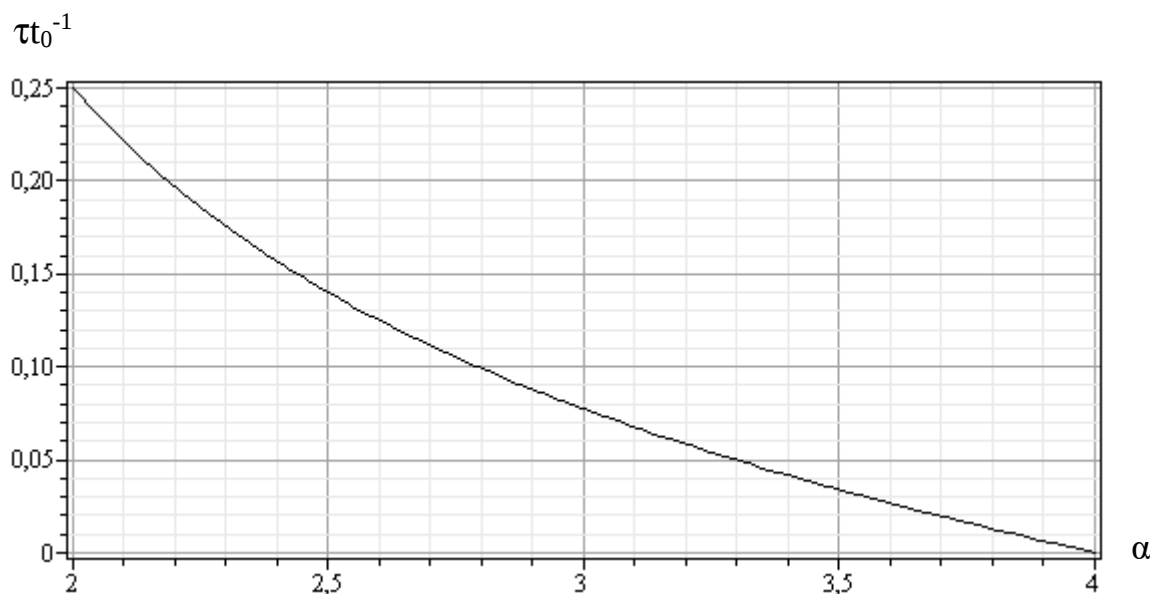


Рисунок 4.4 – Номограма для визначення часового параметра пожежного сповіщувача

Приклад. Для імпульсу електричного струму з параметром $t_0 = 4,0$ с обираємо $t_1 = 2,0$ с та $t_2 = 3,0$ с. Із рис. 3.14 випливає, що $\alpha = 2,56$. Відповідно до номограми (рис. 4.4), цій величині параметра α відповідає $\tau t_0^{-1} = 0,13$, внаслідок чого $\tau = 0,13 \times 4,0 = 0,52$ с. Похибка визначення параметра τ становить 4,0 %.

4.6. Особливості визначення постійної часу пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом

Одержані аналітичні залежності, що зв'язують часовий параметр – постійну часу τ пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом та такі параметри, як тривалість t_0 одиночного імпульсу електричного струму, часові параметри t_1 і t_2 , а також параметр α , є основою під час реалізації одного з чотирьох варіантів визначення часового параметра τ пожежного сповіщувача. Аналіз таких аналітичних залежностей свідчить, що перевагу слід віддати використанню залежностей (4.10), (4.18) або (4.38), які відповідають варіанту 4 реалізації методу визначення постійної часу пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим

елементом. Це зумовлено тим, що в таких аналітичних залежностях мінімізовано кількість параметрів, які використовуються для визначення постійної часу пожежного сповіщувача. До таких параметрів належать:

- тривалість одиночного імпульсу електричного струму t_0 ;
- параметр α – відношення величини температури терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача, яка вимірюється в момент часу $t_1 = 0,5t_0$, до величини його температури, яка вимірюється в момент часу $t_2 = 0,75t_0$.

Крім того, такі аналітичні залежності є найбільш простими за структурою.

До особливостей використання залежностей (4.10), (4.18), (4.28) або (4.38) належить те, що введення у ці залежності параметра α забезпечує інваріантність часового параметра пожежного сповіщувача при його визначенні відносно амплітуди одиночного імпульсу електричного струму, а також відносно коефіцієнта K (див. (2.3)).

Визначення часового параметра – постійної часу пожежного сповіщувача з терморезистивним чутливим елементом зводиться до такого:

- через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача пропускають одиночний імпульс електричного струму амплітудою I та тривалістю t_0 , форма якого описується одним із виразів (3.1), (3.21), (3.39) або (3.47);
- у моменти часу $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$ вимірюють температуру $\theta(t_1) = \theta_1$ та $\theta(t_2) = \theta_2$ терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача;
- визначають величину параметра α згідно з виразом (4.2);
- визначають величину часового параметра – постійну часу τ пожежного сповіщувача з терморезистивним чутливим елементом за допомогою виразів (4.10), (4.18), (4.28), (4.38) або за допомогою номограм, наведених на рис. 4.1–4.4.

4.7. Теплові похибки при визначенні часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом

Величина параметра α , що визначається згідно з (4.2), є початковою інформацією для ідентифікації часового параметра τ пожежного сповіщувача із

терморезистивним чутливим елементом. Внаслідок зміни температури навколишнього середовища виникатиме похибка при визначенні параметра α . Фізичний зміст появи такої похибки пояснюється за допомогою рис. 4.5, для якого є дійсним $\frac{d\theta}{dt} > 0$, та рис. 4.6, для якого є дійсним $\frac{d\theta}{dt} < 0$.

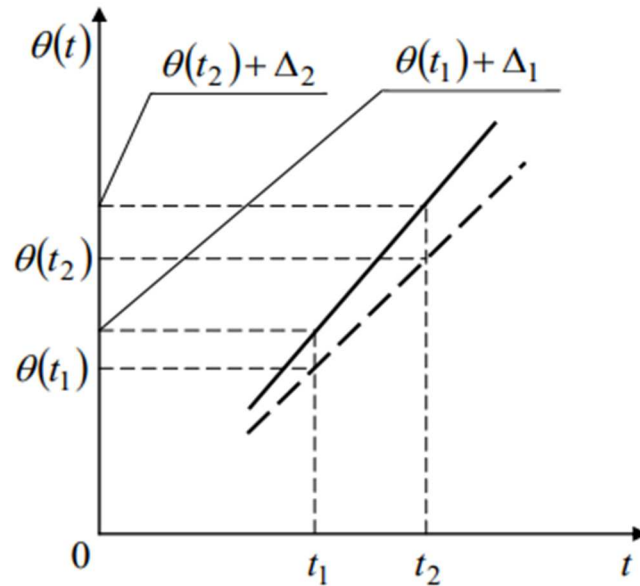


Рисунок 4.5 – До визначення похибки параметра α при $\frac{d\theta}{dt} > 0$

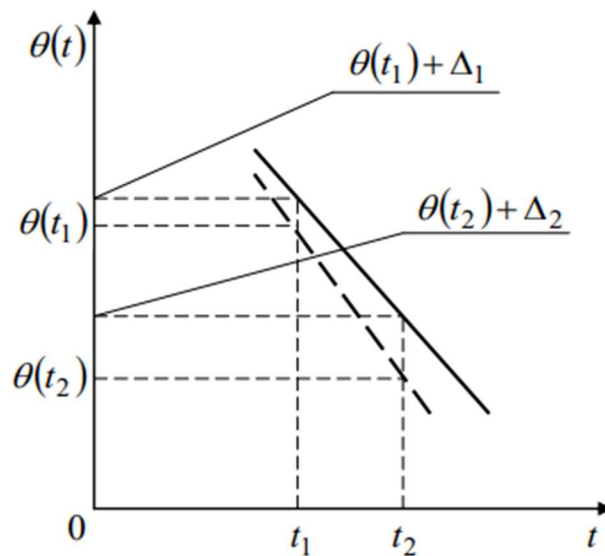


Рисунок 4.6 – До визначення похибки параметра α при $\frac{d\theta}{dt} < 0$

Якщо в моменти часу t_1 і t_2 внаслідок зміни температури навколишнього середовища виникають відповідно похибки Δ_1 та Δ_2 , то при визначенні відношення

температур терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача в ці моменти часу буде дійсним [93]

$$\alpha_1 = [\theta(t_1) + \alpha_1][\theta(t_2) + \alpha_2]^{-1} = \theta(t_1)[\theta(t_2)]^{-1}[1 + \Delta_1[\theta(t_1)]^{-1}][1 + \Delta_2[\theta(t_2)]^{-1}]^{-1} = \alpha[1 + \beta(t_1)][1 + \beta(t_2)]^{-1}, \quad (4.43)$$

де позначено:

$$\beta(t_1) = \Delta_1[\theta(t_1)]^{-1}; \beta(t_2) = \Delta_2[\theta(t_2)]^{-1}. \quad (4.44)$$

Внаслідок того, що:

$$\beta(t_1) \ll 1, \quad \beta(t_2) \ll 1,$$

вираз (4.43) набуває вигляду:

$$\alpha_1 = \alpha[1 + \beta(t_1)][1 - \beta(t_2) = \alpha[1 - [\beta(t_2) - \beta(t_1)]]]. \quad (4.45)$$

$$\text{Якщо } \frac{d\theta}{dt} > 0 \text{ (рис. 4.5), то } \alpha_1 = \alpha(1 + \Delta\beta), \quad (4.46)$$

$$\text{а якщо } \frac{d\theta}{dt} < 0 \text{ (рис. 4.6), то } \alpha_1 = \alpha(1 - \Delta\beta), \quad (4.47)$$

де $\Delta\beta = \beta(t_2) - \beta(t_1)$.

Наявність похибок Δ_1 та Δ_2 обумовлює виникнення похибки $\Delta\beta$, що призводить до похибок при визначенні параметра (4.2), а це своєю чергою призводить до появи похибки при визначенні часового параметра τ пожежного сповіщувача. Ця похибка визначається виразом :

$$\delta = f(\alpha_1)[f(\alpha)]^{-1} - 1, \quad (4.48)$$

де $f(\alpha_1)$, $f(\alpha)$ – функція, яка визначає зв'язок між часовим параметром τ пожежного сповіщувача та параметрами α і $\Delta\beta$, та функція, яка визначає зв'язок між параметрами τ і α відповідно.

Вирази $f(\alpha)$ описуються залежностями (4.10), (4.18), (4.28) та (4.38), а вирази $f(\alpha_1)$ відрізняються від $f(\alpha)$ тим, що замість параметра α в них використовується співвідношення (4.46) або (4.47).

Визначимо вплив температурних похибок Δ_1 та Δ_2 на результат визначення величини часового параметра τ при використанні залежностей (4.12), (4.18), (4.28) або (4.38).

Для електричного імпульсу у вигляді (3.1) функція $f(\alpha)$ має вигляд (4.10), а функція $f(\alpha_1)$ матиме вигляд:

$$f(\alpha_1) = [2\tau_0(1 - \alpha(1 + \Delta\beta))]^{-1} [1 - 0,7\alpha(1 + \Delta\beta) - [9,4\alpha(1 + \Delta\beta) - 6,3\alpha^2(1 + \Delta\beta)^2 - 3]^{0,5}]. \quad (4.49)$$

Після об'єднання (4.10), (4.48) та (4.49), а також враховувати співвідношення:

$$[1 - \alpha\Delta\beta(1 - \alpha)^{-1}]^{-1} = 1 + \alpha + \beta(1 - \alpha)^{-1}, \quad (4.50)$$

Вираз для похибки δ_1 визначення часового параметра τ пожежного сповіщувача з терморезистивним чутливим елементом матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \delta_1 = & [(9,4\alpha - 6,3\alpha^2 - 3)^{0,5} - [1 + \alpha\Delta\beta(1 - \alpha)^{-1}][9,4\alpha(1 + \Delta\beta) - \\ & - 6,3\alpha^2(1 + \Delta\beta)^2 - 3]^{0,5} + \alpha\Delta\beta(0,3 - 0,7\alpha\Delta\beta)(1 - \alpha)^{-1}] \times \\ & \times [1 - 0,7\alpha - (9,4\alpha - 6,3\alpha^2 - 3)^{0,5}]^{-1}. \end{aligned} \quad (4.51)$$

На рис. 4.7 наведено графічну залежність (4.51).

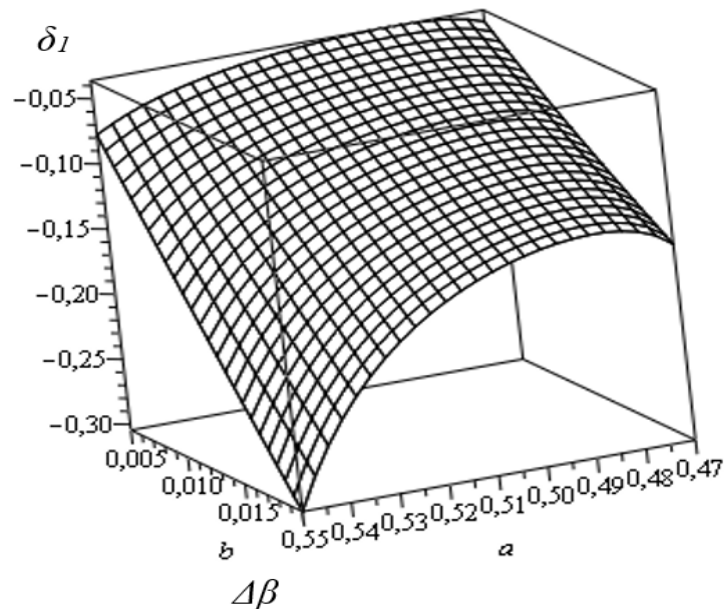


Рисунок 4.7 – Залежність $\delta_1(\alpha, \Delta\beta)$

Із залежності, яка наведена на рис. 4.7, випливає, що при $\Delta\beta = 2,0\%$ похибка визначення часового параметра τ пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом може становити (14,0–30,0) %.

При використанні як тест-сигналу імпульсу електричного струму, форма якого має опис у вигляді (3.21), функція $f(\alpha)$ описується виразом (4.18), а функція $f(\alpha_1)$ має вигляд:

$$f(\alpha_1) = [2\pi(\alpha(1 - \beta) - 1)]^{-1} [1 - 0,7\alpha(1 - \Delta\beta) +$$

$$+[3,8\alpha(1-\Delta\beta)-0,7\alpha^2(1-\Delta\beta)^2-3]^{0,5}]. \quad (4.52)$$

Для похибки δ_2 визначення величини часового параметра τ пожежного сповіщувача матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \delta_2 = & [(1 + \alpha\Delta\beta(\alpha - 1))[3,8\alpha(1 - \Delta\beta) - 0,7\alpha(1 - \Delta\beta)^2 - 3]^{0,5} - \\ & -(3,8\alpha - 0,7\alpha^2 - 3)^{0,5} + \alpha\Delta\beta(0,3 + 0,7\alpha\Delta\beta)(\alpha - 1)^{-1}][1 - 0,7\alpha - \\ & -(3,8\alpha - 0,7\alpha^2 - 3)^{0,5}]^{-1}. \end{aligned} \quad (4.53)$$

На рис. 4.8 наведено графічну залежність (4.53).

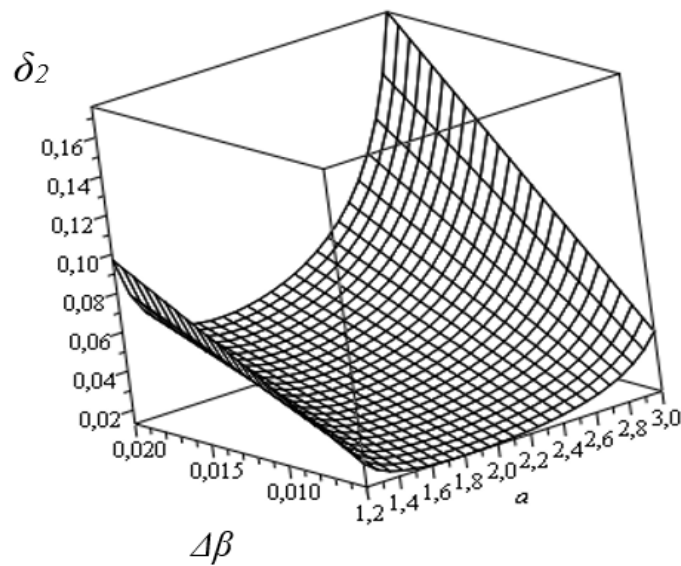


Рисунок 4.8 – Залежність $\delta_2(\alpha, \Delta\beta)$

З аналізу цієї залежності випливає, що при $\Delta\beta = 2,0 \%$ величина похибки δ_2 лежить у діапазоні (5,3–17,0) %.

Якщо як тест-сигнал при визначенні величини часового параметра τ пожежного сповіщувача використовується імпульс електричного струму у вигляді (3.39), то функція $f(\alpha)$ описується виразом (4.28), а функція $f(\alpha_1)$ має вигляд:

$$\begin{aligned} f(\alpha_1) = & [4(1 - \alpha(1 + \Delta\beta))]^{-1}[1 - 1,5\alpha(1 + \Delta\beta) - [3,5\alpha(1 + \Delta\beta) - \\ & - 2,25\alpha^2(1 + \Delta\beta)^2 - 1]^{0,5}]. \end{aligned} \quad (4.54)$$

Для похибки δ_3 визначення величини часового параметра τ пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом матиме вигляд :

$$\delta_3 = [(3,5\alpha - 2,25\alpha^2 - 1)^{0,5} - [1 + \alpha\Delta\beta(1 - \alpha)^{-1}][3,5\alpha(1 + \Delta\beta) - 2,25\alpha^2(1 + \Delta\beta)^2 - 1]^{0,5} - \alpha\Delta\beta(0,5 + 1,5\alpha\Delta\beta)(1 - \alpha)^{-1}][1 - 1,5\alpha - (3,5\alpha - 2,25\alpha^2 - 1)^{0,5}]^{-1}. \quad (4.55)$$

Графічна інтерпретація цієї залежності наведена на рис. 4.9.

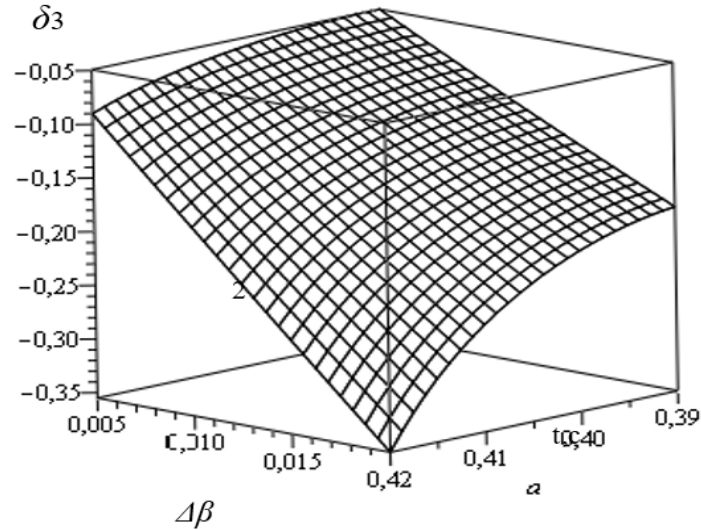


Рисунок 4.9 – Залежність $\delta_3(\alpha, \Delta\beta)$

Величина похибки δ_3 при $\Delta\beta = 2,0\%$ лежить у діапазоні (20,0–35,0) %.

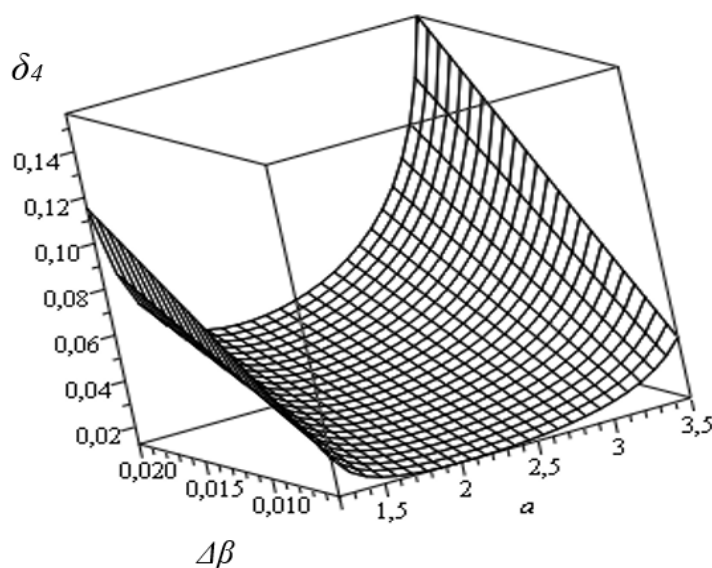
При використанні імпульсу електричного струму у вигляді (3.47) функція $f(\alpha)$ має вигляд (4.38), а функція $f(\alpha_1)$ набуває вигляду:

$$f(\alpha_1) = [8(\alpha(1 - \Delta\beta) - 1)]^{-1}[2 - \alpha(1 - \Delta\beta) + [6\alpha(1 - \Delta\beta) - \alpha^2(1 - \Delta\beta)^2 - 4]^{0,5}]. \quad (4.56)$$

Враховуючи (4.38), (4.48) та (4.56), то похибка δ_4 визначення величини часового параметра τ пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом матиме опис [94]

$$\delta_4 = [(1 + \alpha\Delta\beta(\alpha - 1))^{-1}[6\alpha(1 - \Delta\beta) - \alpha^2(1 - \Delta\beta)^2 - 4]^{0,5} - (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5} + \alpha\Delta\beta(1 + \alpha\Delta\beta)(\alpha - 1)^{-1}][2 - \alpha + (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5}]^{-1}. \quad (4.57)$$

На рис. 4.10 наведено графічну залежність для (4.57). Для цієї залежності діапазон, до якого належить величина похибки δ_4 при $\Delta\beta = 2,0\%$, становить (4,9–15,0) %.

Рисунок 4.10 – Залежність $\delta_4(\alpha, \Delta\beta)$

Варто зазначити, що при використанні тест-сигналів у вигляді одиночних імпульсів електричного струму, форма яких описується виразами (3.21) або (3.47), величина температурної похибки є меншою, ніж при використанні тест-сигналів у вигляді (3.1) або (3.39). Крім того, при використанні тест-сигналів (3.21) або (3.47) величина похибки, яка обумовлена зміною температури навколишнього середовища, при фіксованих значеннях $\Delta\beta$ має мінімум. Величини параметра α , яким відповідає екстремум функцій $\delta_2(\alpha, \Delta\beta)$ та $\delta_4(\alpha, \Delta\beta)$, визначаються коренями алгебраїчних рівнянь :

$$\frac{\partial \delta_2(\alpha, \Delta\beta)}{\partial \alpha} = 0 ; \quad \frac{\partial \delta_4(\alpha, \Delta\beta)}{\partial \alpha} = 0 . \quad (4.58)$$

На рис. 4.11 та рис. 4.12 наведено графічну інтерпретацію рішення алгебраїчних рівнянь (4.58), а на рис. 4.13 – графічні залежності коренів α_2 та α_4 цих алгебраїчних рівнянь від величини похибки $\Delta\beta$.

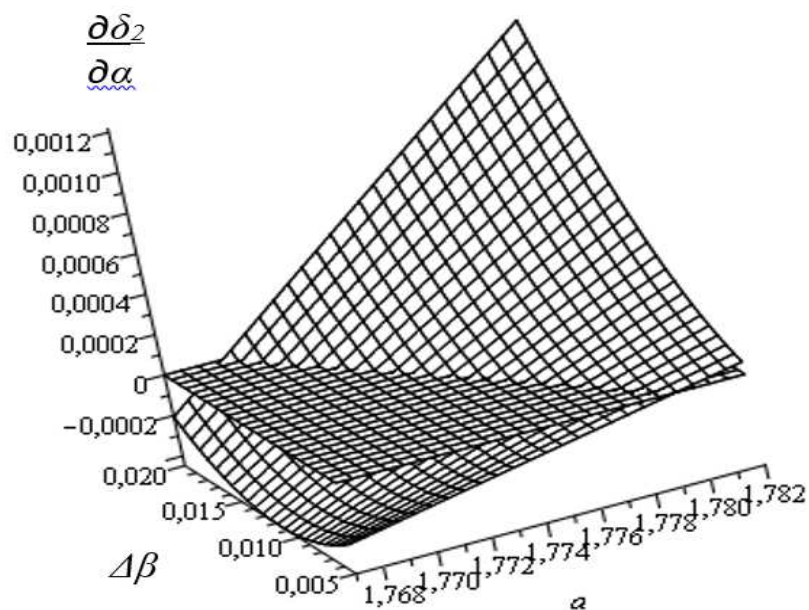


Рисунок 4.11– Графічна інтерпретація рішення першого алгебраїчного рівняння (4.58)

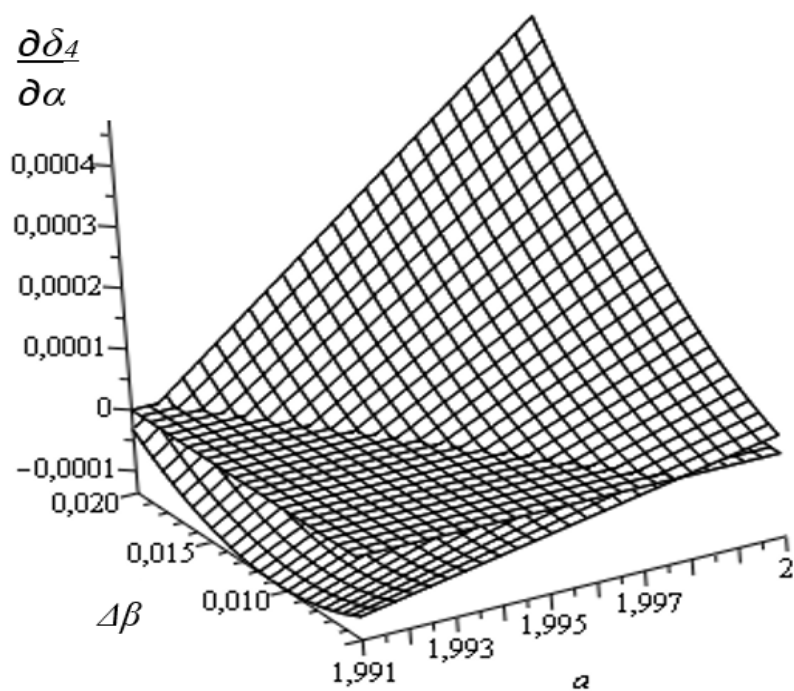


Рисунок 4.12 – Графічна інтерпретація рішення другого алгебраїчного рівняння (4.58)

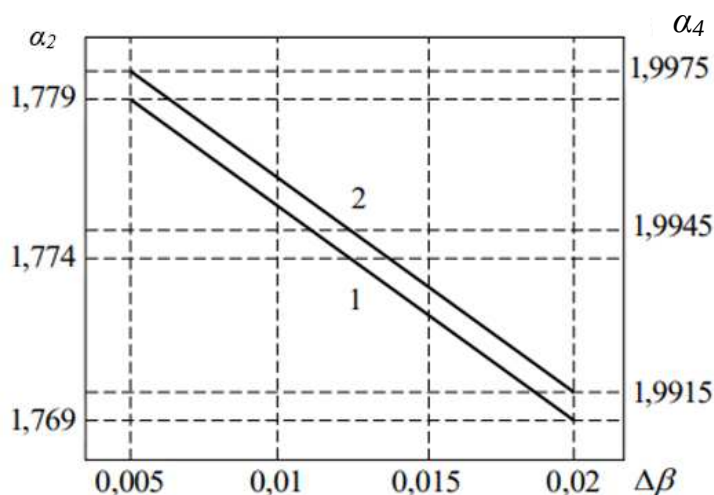


Рисунок 4.13 – Залежності $\alpha_i(\Delta\beta)$: 1 – залежність $\alpha_2 = \alpha_2(\Delta\beta)$;

2 – залежність $\alpha_4 = \alpha_4(\Delta\beta)$

Із рис. 4.13 випливає, що:

- залежності $\alpha_i(\Delta\beta)$ є лінійними функціями;
- при варіюванні величини похибки $\Delta\beta$ в діапазоні (0,5–2,0) % величини коренів α_2 та α_4 змінюються відповідно на 0,6 % та 0,3 % відносно їхніх середніх значень;
- на практиці доцільно використовувати середні значення коренів α_2 та α_4 алгебраїчних рівнянь (4.58), які відповідно дорівнюють 1,774 та 1,994;
- середнім значенням коренів α_2 та α_4 відповідають значення похибок α_2 та α_4 , величини яких не перевищують відповідно 5,3 % та 4,9 %.

Висновки до четвертого розділу

1. Розглянуто умови і варіанти побудови методу визначення часового параметра – постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, основою якого є використання такого параметра як відношення реакцій чутливого елемента пожежних сповіщувачів у два моменти часу на теплову дію імпульсу електричного струму.

2. Показано, що метод визначення часового параметра пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом може бути реалізований чотирма варіантами, але кожен з них є інваріантним відносно коефіцієнта, що визначається фізичними параметрами чутливого елемента, та амплітуди імпульсу електричного струму.

3. Для кожного з чотирьох імпульсів електричного струму, що протікають через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача, побудовані математичні моделі і номограми, за допомогою яких здійснюється визначення часового параметра. Рішення тестових задач свідчить, що похибка визначення часового параметра пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом не перевищує 4,0 %.

4. Розглянуто вплив зміни температури навколишнього середовища на результат визначення початкових даних для методу, що розглядається. Найменші похибки мають місце при використанні імпульсів електричного струму у вигляді чверті косинусоїди та прямокутного трикутника, амплітуда якого при зміні температури навколишнього середовища на заданому інтервалі часу на 2,0 % відповідні похибки становлять 5,3 % та 4,9 %.

5. Для реалізації методу визначення часового параметра – постійної часу теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом доцільно проводити вимірювання його реакцій на теплову дію електричного струму в моменти часу, що дорівнюють половині та трьом чвертям тривалості одиночного імпульсу електричного струму.

РОЗДІЛ 5. ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ ІЗ ТЕРМОРЕЗИСТИВНИМ ЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ ТА ЙОГО ІМІТАЦІЙНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

5.1. Імітаційна модель процесу визначення часового параметра пожежного сповіщувача

Одержані в попередніх розділах 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 [88,89]. Використання цього пакета для моделювання процесів, які відбуваються при протіканні імпульсів електричного струму через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача, дасть змогу виявити нові особливості одержання інформації для обґрунтування методу визначення його часових параметрів [95–97].

На рис. 5.1 наведено схему імітаційної моделі процесу визначення часового параметра – постійної часу пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом [98], у якій реалізовано формування теплового впливу із використанням імпульсу електричного струму у вигляді (3.21).

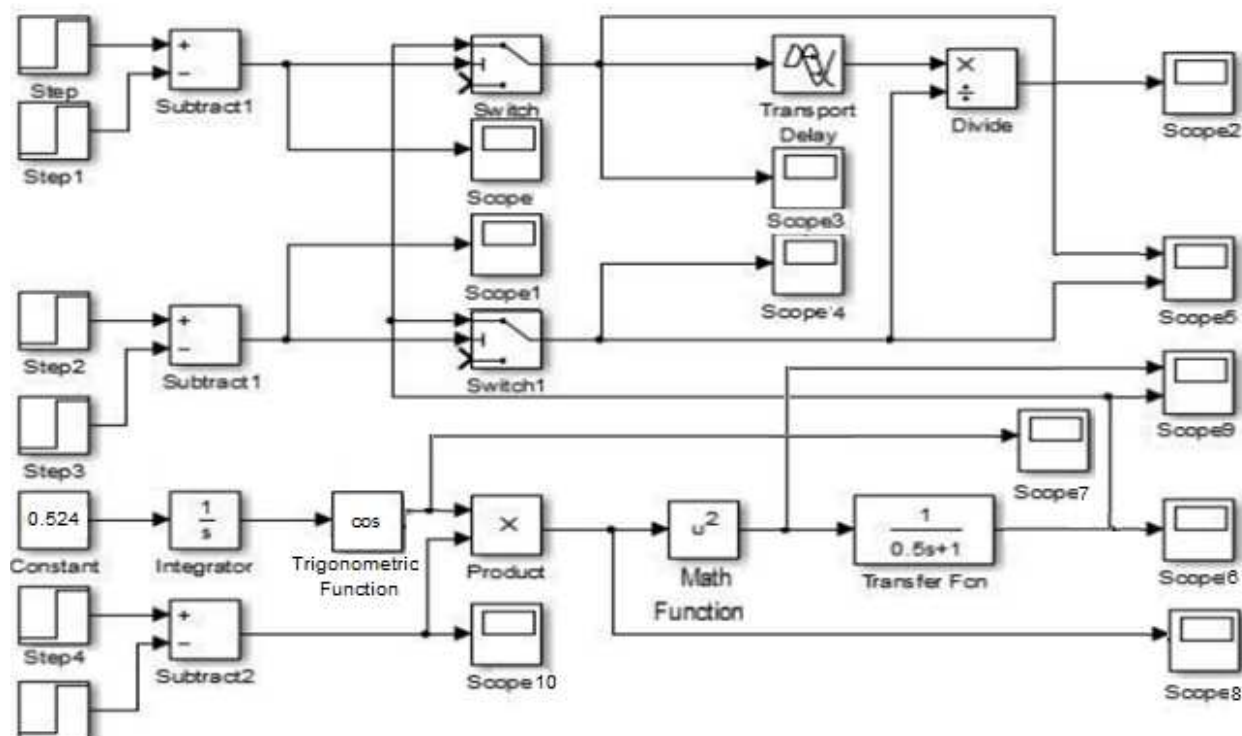


Рисунок 5.1 – Імітаційна модель процесу визначення часового параметра пожежного сповісчувача (імпульс електричного струму (3.21))

Терморезистивний чутливий елемент пожежного сповісчувача 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. 5.2).

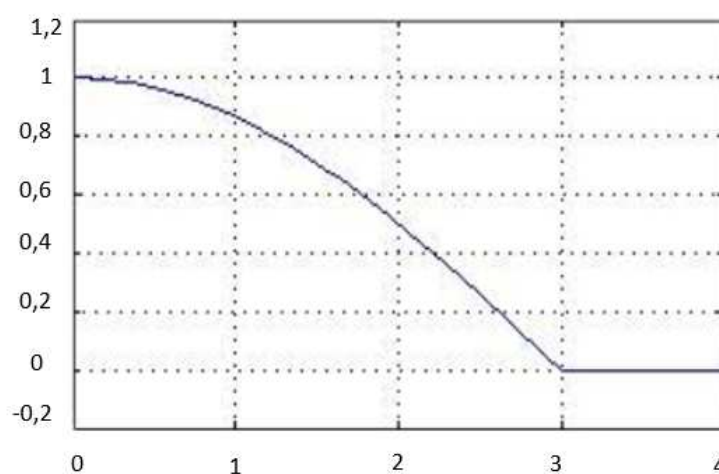


Рисунок 5.2 – Імпульс електричного струму ($I = 1,0$ А, $t_0 = 3,0$ с)

Блок Math Function забезпечує формування моделі теплового тест-впливу на терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача згідно із законом Джоуля-Ленца (див. верхню осцилограму на рис. 5.3).

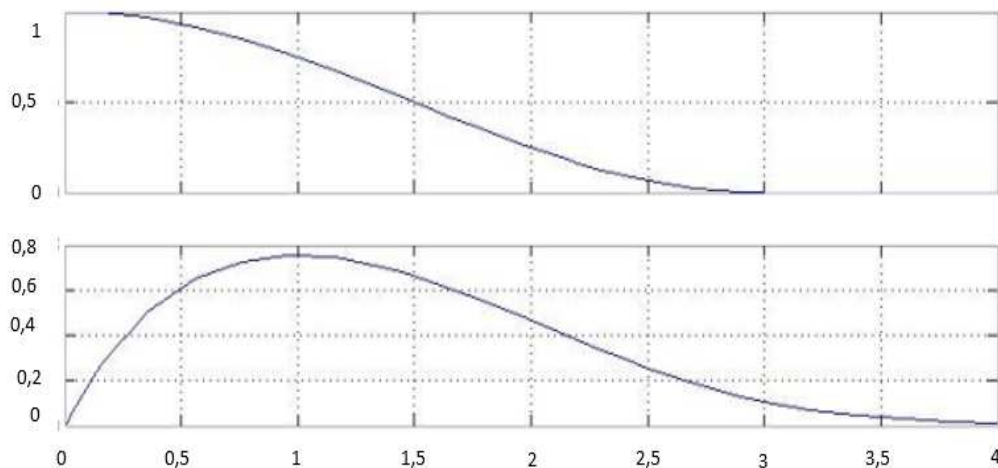


Рисунок 5.3 – Тест-вплив та реакція терморезистивного чутливого елемента

На нижній частині рис. 5.3 наведено осцилограму реакції терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію імпульсу електричного струму з параметрами, що подані на рис. 5.2.

За допомогою блоків Step, Step 1 та Subtract 1 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. 5.4 зображено осцилограми для температур $\theta(t_1)$ та $\theta(t_2)$ терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача.

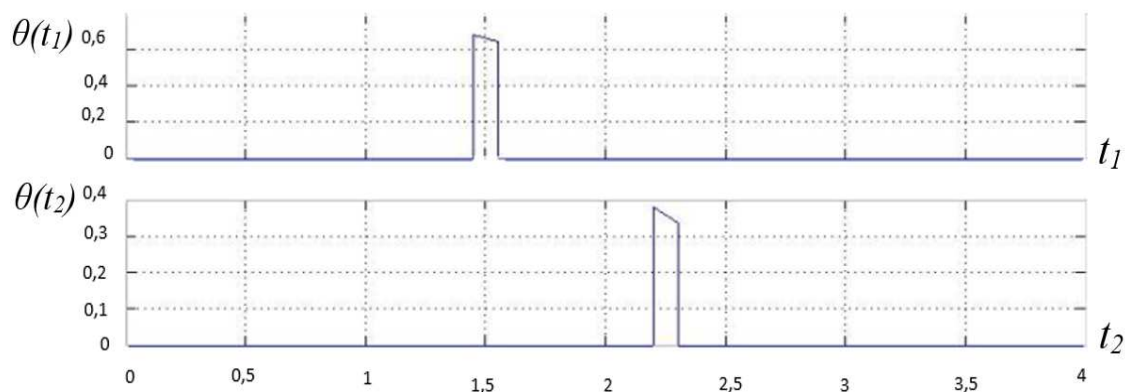


Рисунок 5.4 – Температура терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача в моменти часу $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$

Блоки Scope, Scope 1–Scope 5, Scope 9–Scope 12 використовуються для візуалізації процесу визначення часового параметра пожежного сповіщувача.

На рис. 5.5 наведено схему імітаційної моделі процесу визначення часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом, у якій реалізовано формування теплового впливу з використанням імпульсу електричного струму у вигляді (3.47).

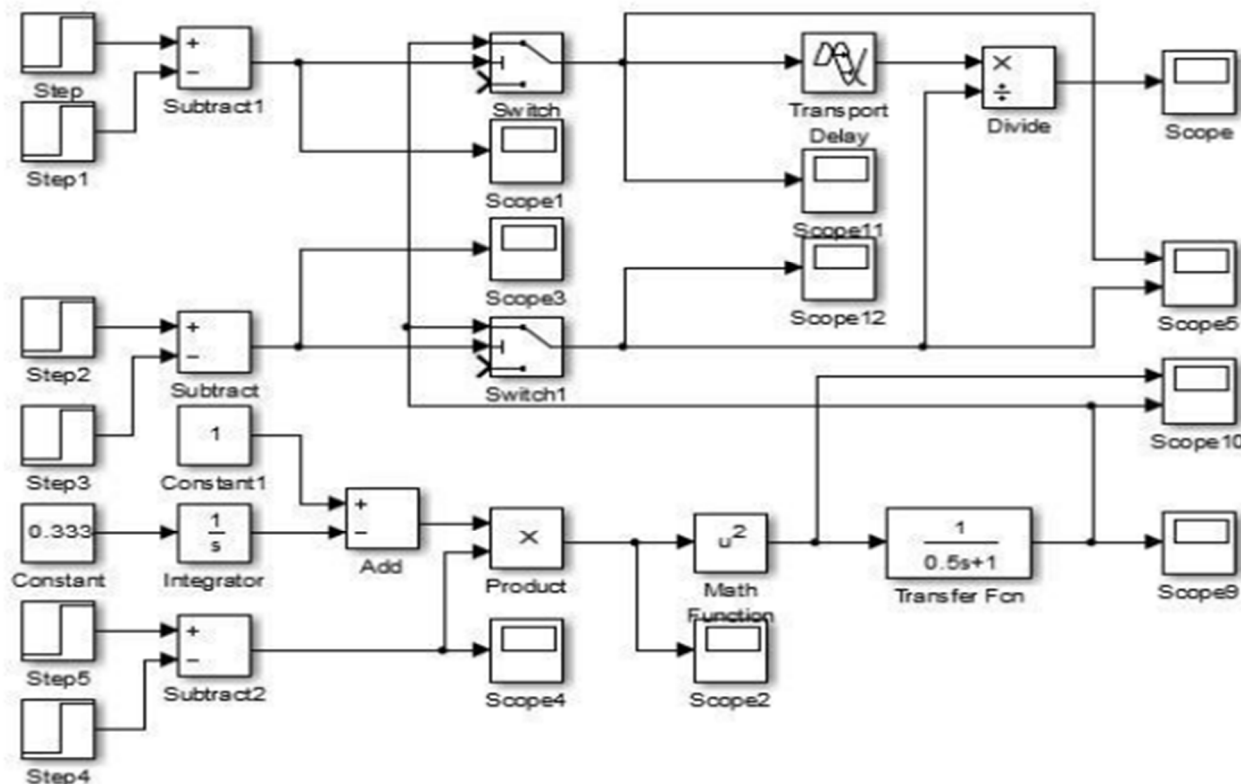


Рисунок 5.5 – Імітаційна модель процесу визначення часового параметра пожежного сповіщувача (імпульс електричного струму (3.47))

У цій моделі терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача реалізовано за допомогою блока Transfer Fcn. Формування одиночного імпульсу електричного струму виду (3.47) здійснюється за допомогою блоків Constant, Constant 1, Integrator, Add, Product, Step 4, Step 5 та Subtract 2 (рис. 5.6).

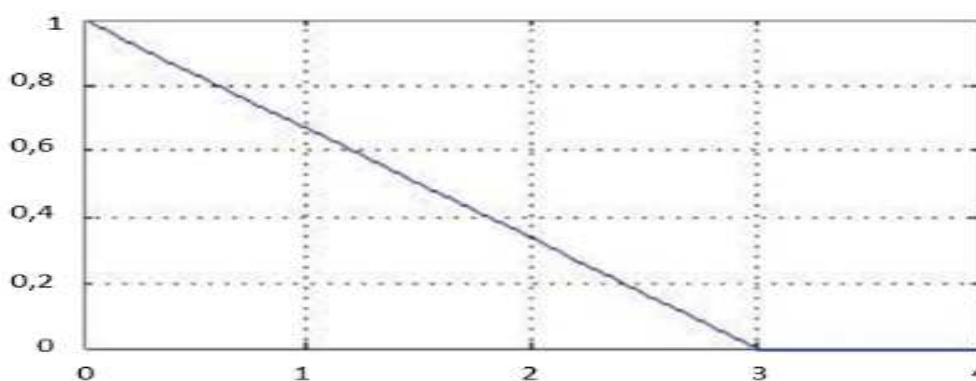


Рисунок 5.6 – Імпульс електричного струму ($I = 1,0$ А, $t_0 = 3,0$ с)

За допомогою блока Math Funtion забезпечується формування теплового тест-впливу на терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача згідно із законом Джоуля-Ленца. Осцилограма такого тест-впливу зображена у верхній частині рис. 5.7. У нижній частині рис. 5.7 зображена осцилограма реакції.

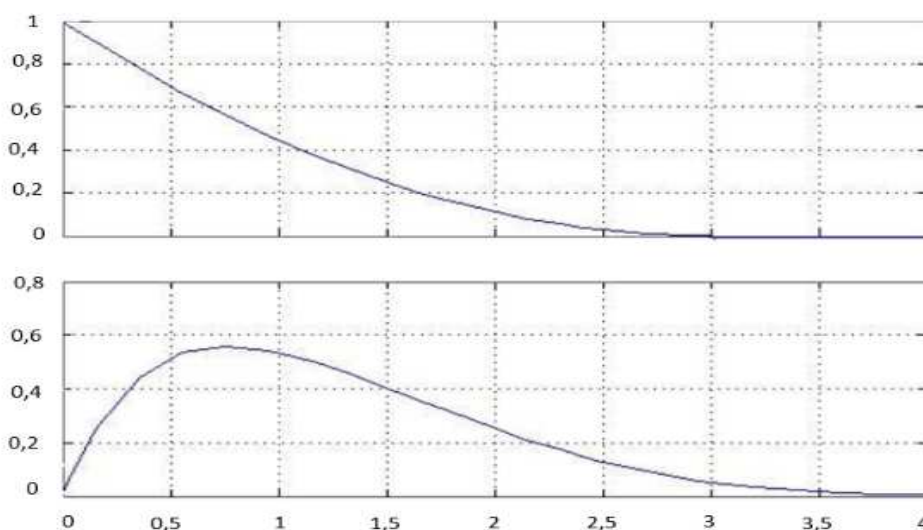


Рисунок 5.7 – Тест-вплив та реакція терморезистивного чутливого елемента

Блоки Step, Step 1 та Subtract 1, а також блоки Step 2, Step 3 та Subtract 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. На рис. 5.8 зображені осцилограми для

температур $\theta(t_1)$ та $\theta(t_2)$ терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача.

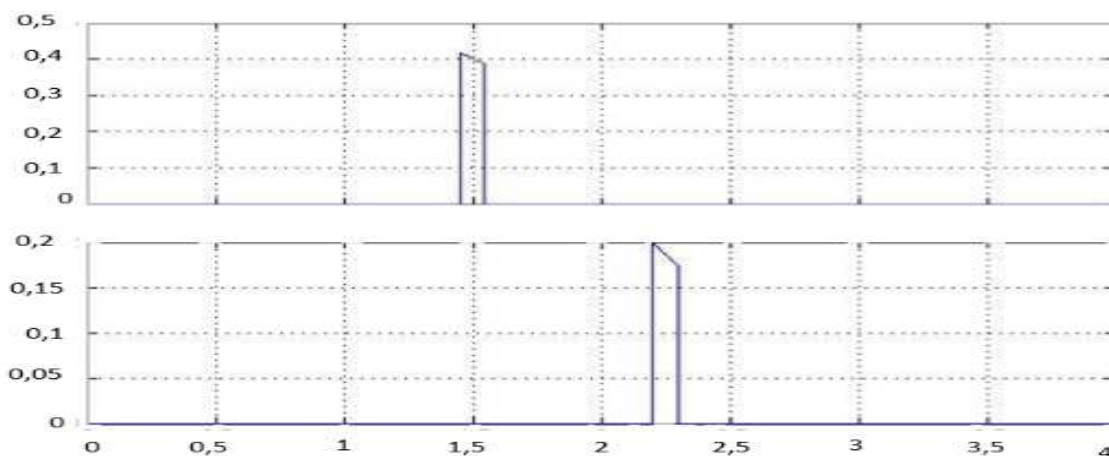


Рисунок 5.8 – Температура терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача в моменти часу $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$

Блоки Transport Delay та Divide на схемах, що наведені на рис. 5.1 та рис. 5.5, забезпечують визначення величини параметра α .

5.2. Імітаційне моделювання теплових процесів у пожежних сповіщувачах із терморезистивним чутливим елементом

Імітаційне моделювання процесів, що виникають в терморезистивному чутливому елементі пожежного сповіщувача під час теплової дії електричного струму, здійснювалось за допомогою імітаційних моделей, схеми яких зображені на рис. 5.1 та рис. 5.5. При імітаційному моделюванні здійснювалось визначення оптимальних значень тривалості імпульсів електричного струму, які забезпечують мінімальні значення похибок при формуванні теплового тест-впливу на терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача в умовах зміни температури навколишнього середовища.

При моделюванні величина тривалості імпульсів електричного струму змінювалась у діапазоні $(2,0-30,0)$ с, а величина постійної часу пожежного сповіщувача набувала трьох значень – 0,5 с, 1,0 с та 5,0 с. За допомогою моделей,

схеми яких наведено на рис. 5.1 та рис. 5.5, визначались величини параметра α . У табл. 5.1 і табл. 5.2 наведено результати імітаційного моделювання відповідно при використанні одиночних імпульсів електричного струму у вигляді (3.21) та (3.47).

Таблиця 5.1

Значення параметра α при тест-впливі у вигляді (3.21)

t_0, c	3,0	4,0	6,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
$\tau = 0,5c$								
α	1,72	2,10	2,45	2,74	3,53			
$\tau = 1,0c$								
α		1,57	1,84	2,34	2,67			
$\tau = 5,0c$								
α						1,56	1,73	1,84

Таблиця 5.2

Значення параметра α при тест-впливі у вигляді (3.47)

t_0, c	2,0	3,0	4,0	6,0	10,0	15,0	20,0	25,0
$\tau = 0,5c$								
α	1,76	2,08	2,50	2,95	3,26	3,53		
$\tau = 1,0c$								
α		1,53	1,76	2,21	2,80	3,19	3,37	
$\tau = 5,0c$								
α						1,55	1,76	2,04

Дані табл. 5.1 були апроксимовані виразом:

$$\alpha(\tau) = \sum_{i=0}^4 a_i t_0^i, \quad (5.1)$$

а дані табл. 5.2 – виразом:

$$\alpha(\tau) = \sum_{i=0}^5 b_i t_0^i, \quad (5.2)$$

де a_i та b_i – параметри, значення яких наведено в табл. 5.3 і табл. 5.4 відповідно.

Таблиця 5.3

Значення параметрів a_i

	a_0	a_1, c^{-1}	a_2, c^{-2}	a_3, c^{-3}	a_4, c^{-4}
$\alpha(0,5)$	1,0967	0,0966	0,0072	-0,00044	
$\alpha(1,0)$	-0,5474	1,08383	-0,12014	0,00339	0,000067
$\alpha(5,0)$	1,0	0,028			

Таблиця 5.4

Значення параметрів b_i

	b_0	b_1, c^{-1}	b_2, c^{-2}	b_3, c^{-3}	b_4, c^{-4}	b_5, c^{-5}
$\alpha(0,5)$	3,26	-2,17	0,02	-0,179	0,0135	-0,00036
$\alpha(1,0)$	1,27	-0,132	0,107	-0,0134	0,00069	- 0,000013
$\alpha(5,0)$	0,14	0,181	-0,0082	0,00016		

Оптимальне значення t_{opt} тривалості імпульсу електричного струму форми (3.21) визначалось рішенням алгебраїчного рівняння:

$$\alpha_{cp1} - \sum_{i=0}^4 a_i t_0^i = 0, \quad (5.3)$$

де $\alpha_{cp1} = 1,774$.

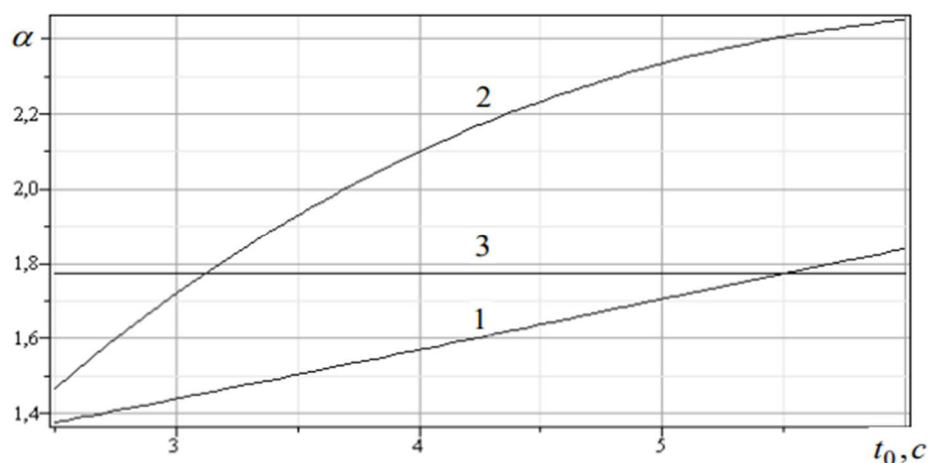


Рисунок 5.9 – До визначення оптимальних значень тривалості імпульсу електричного струму форми (3.21): 1 – $\alpha(\tau = 1,0 \text{ c})$; 2 – $\alpha(\tau = 0,5 \text{ c})$; 3 – $\alpha = 1,774$

На рис. 5.9 та рис. 5.10 відображено графічно інтерпретацію рішення алгебраїчного рівняння (5.3) при $\tau = 0,5 \text{ c}$ та $\tau = 1,0 \text{ c}$, а також при $\tau = 5,0 \text{ c}$ відповідно.

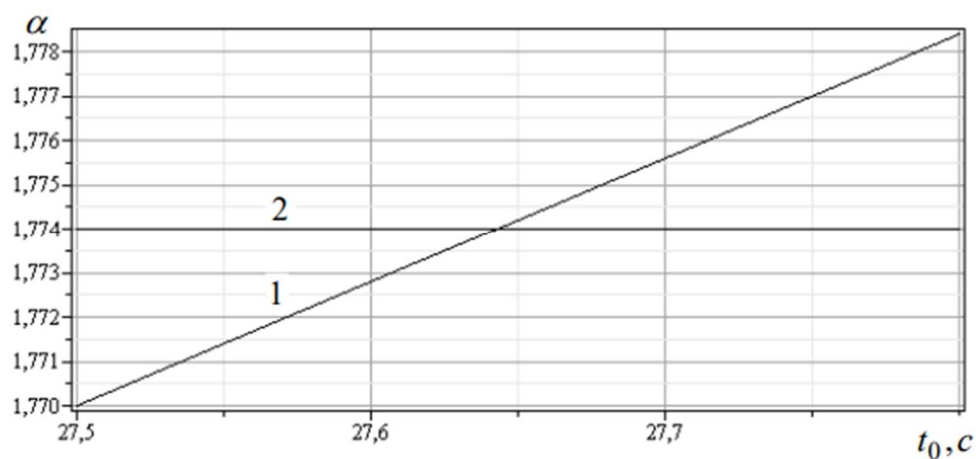


Рисунок 5.10 – Визначення оптимального значення тривалості імпульсу електричного струму форми (3.21): 1 – $\alpha(\tau = 5,0 \text{ c})$; 2 – $\alpha = 1,774$

Для розглянутих умов t_{opt} може бути представлена у вигляді:

$$t_{opt} = d\tau, \quad (5.4)$$

де $d = 6,22$ для $\tau = 0,5 \text{ c}$; $d = 5,54$ для $\tau = 1,0 \text{ c}$; $d = 5,53$ для $\tau = 5,0 \text{ c}$.

Оптимальне значення t_{opt} тривалості імпульсу електричного струму форми (3.47) визначалось рішенням алгебраїчного рівняння:

$$\alpha_{cp2} - \sum_{i=0}^5 b_i t_0^i, \quad (5.5)$$

де $\alpha_{cp2} = 1,994$.

На рис. 5.11 та рис. 5.12 представлено графічну інтерпретацію рішення алгебраїчного рівняння (5.5) при $\tau = 0,5$ с і $\tau = 1,0$ с, а також при $\tau = 5,0$ с відповідно.

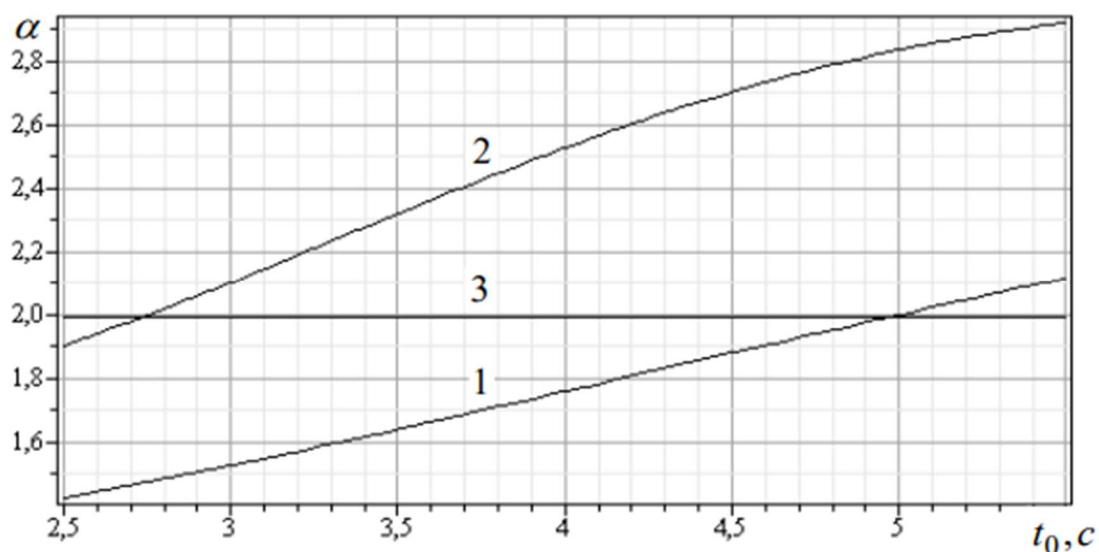


Рисунок 5.11 – Визначення оптимальних значень тривалості імпульсу електричного струму форми (3.47): 1 – $\alpha(\tau = 1,0$ с); 2 – $\alpha(\tau = 0,5$ с)

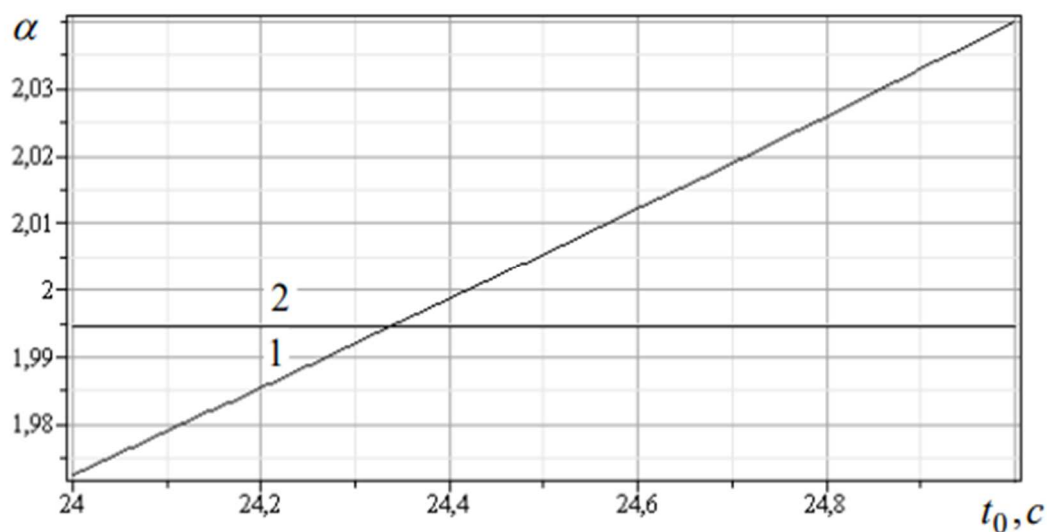


Рисунок 5.12 – Визначення оптимального значення тривалості імпульсу електричного струму форми (3.47): 1 – $\alpha(\tau = 5,0$ с); 2 – $\alpha = 1,994$

Оптимальне значення t_{opt} тривалості імпульсу електричного струму визначається згідно з (5.4), де $d = 5,48$ для $\tau = 0,5$ с; $d = 5,01$ для $\tau = 1,0$ с; $d = 4,88$ для $\tau = 5,0$ с.

На рис. 5.13 наведено графічні залежності $t_{opt}\tau^{-1} = \varphi(\tau)$ для імпульсів електричного струму форми (3.21) та (3.47).

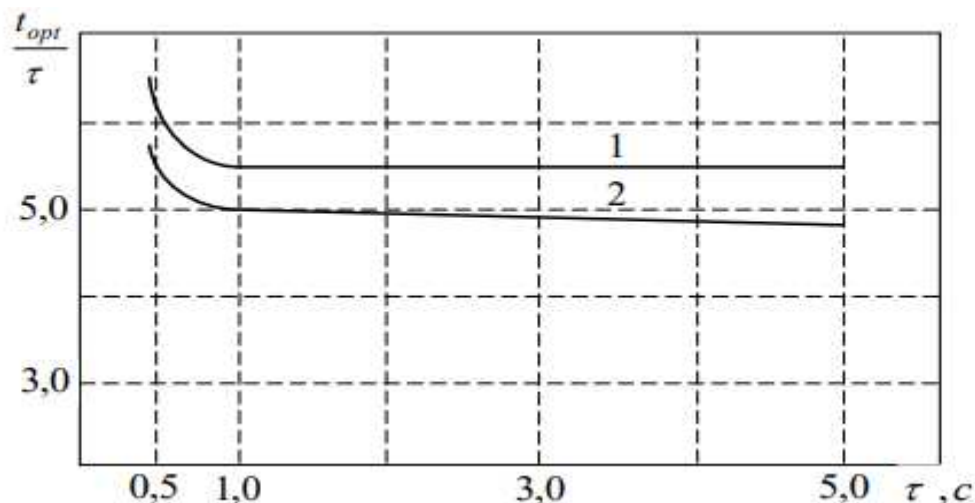


Рисунок 5.13 – Залежності: $t_{opt}\tau^{-1} = \varphi(\tau)$: 1 – імпульс (3.21); 2 – імпульс (3.47)

Із цих залежностей випливає, що зв'язок між параметрами t_{opt} і τ може бути представлений у вигляді:

$$t_{opt} = (5,0-5,5)\tau, \quad (5.6)$$

якщо $\tau \geq 1,0$ с.

5.3. Метод визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом

Масив даних, що наведені в розділах 3–4, дає змогу сформулювати вимоги до початкових умов при визначенні часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом. До цих умов належать:

- в ролі одиночного імпульсу електричного струму, який використовується як тест-сигнал, насамперед доцільно використовувати імпульс виду (3.47);

- як виняток може використовуватись в ролі тест-сигналу імпульс електричного струму виду (3.21);

- тривалість одиночного імпульсу електричного струму визначається співвідношенням (5.6);

- в ролі величин, що підлягають вимірюванню, обираються величини температур терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача у два апріорі задані моменти часу;

- апріорі задані моменти часу обираються такими, що дорівнюють половині та трьом чвертям тривалості одиночного імпульсу електричного струму.

Імпульсивний метод визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом зводиться до виконання такої послідовності процедур:

- вхід порогового пристрою відмикаємо від терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача;

- під'єднуємо терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача до входу генератора одиночних імпульсів електричного струму;

- обираємо форму імпульсу електричного струму у вигляді (3.47) або у вигляді (3.21);

- задаємо параметри одиночного імпульсу електричного струму, зокрема тривалість t_0 імпульсу електричного струму вибирають за умови (5.6);

- задаємо часові параметри $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$;

- через терморезистивний чутливий елемент пропускаємо імпульс електричного струму;

- в момент часу $t_1 = 0,5t_0$ вимірюємо температуру терморезистивного чутливого елемента – $\theta(t_1) = \theta_1$;

- в момент часу $t_2 = 0,75t_0$ вимірюємо температуру терморезистивного чутливого елемента – $\theta(t_2) = \theta_2$;

- визначаємо параметр α – вираз (4.2).

1. За допомогою номограми, яка наведена на рис. 4.4 (якщо використовується імпульс електричного струму виду (3.47)), або за допомогою номограми, яка

наведена на рис. 4.2 (якщо використовується імпульс електричного струму виду (3.21)), визначаємо часовий параметр τ пожежного сповісвача;

2. Величина часового параметра τ пожежного сповісвача може бути визначена і за допомогою обчислювальних процедур відповідно до виразів (4.38) або (4.28). На рис. 5.14 та рис. 5.15 наведені відповідні схеми, які реалізують ці алгоритми в середовищі Matlab за допомогою пакета Simulink.

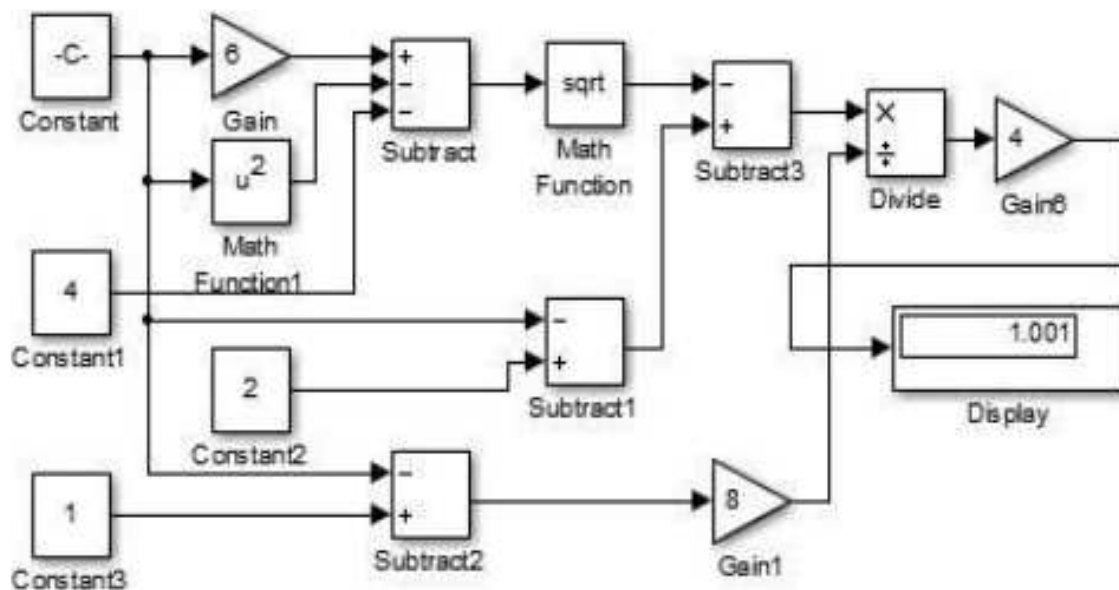


Рисунок 5.14 – Схема моделі для визначення параметра τ відповідно до (4.38)

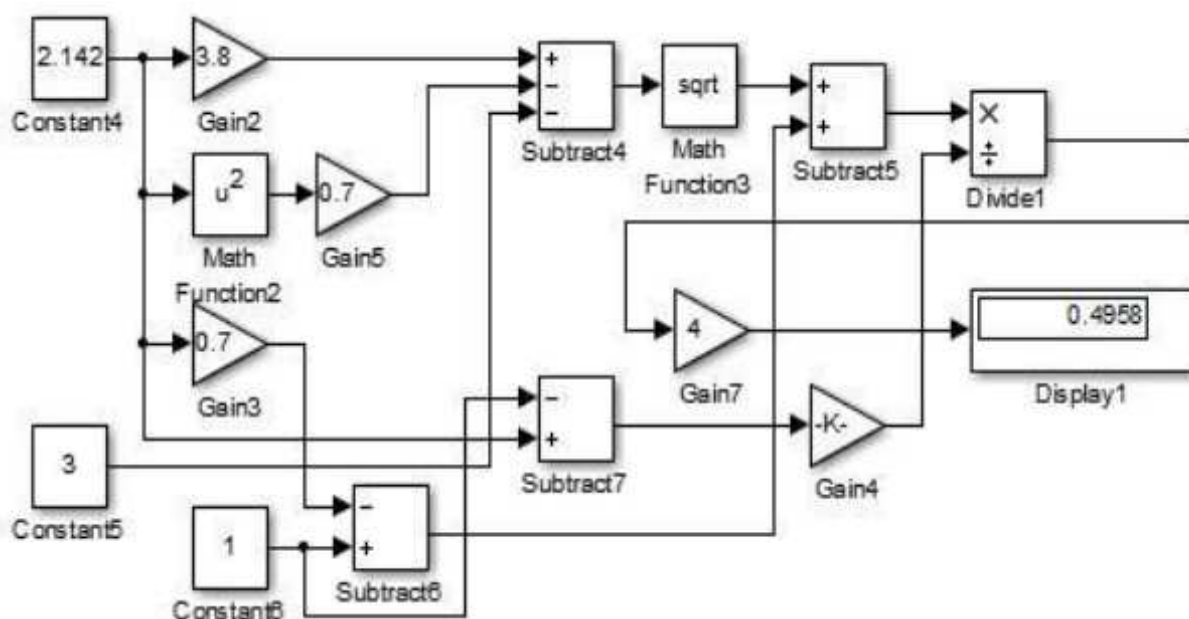


Рисунок 5.15 – Схема моделі для визначення параметра τ відповідно до (4.28)

На цих схемах за допомогою блоків Constant та Constant 4 задаємо значення параметрів α , а результат обчислення – величина часового параметра τ – відображається на екранах блоків Display та Display 1;

- вхід порогового пристрою під'єднуємо до джерела сталої електричної напруги;

- на вхід порогового пристрою пожежного сповіщувача від джерела сталої електричної напруги подаємо електричну напругу, величину якої змінюємо за лінійним законом від U_{min} до U_{max} , де U_{min} відповідає мінімальній величині температури спрацьовування T_{cmin} пожежного сповіщувача, а U_{max} – максимальній величині температури спрацьовування T_{cmax} (згідно з ДСТУ EN 54-5:2003);

- при спрацьовуванні порогового пристрою вимірюємо величину електричної напруги на його вході – U_c ;

- вхід порогового пристрою пожежного сповіщувача відмикаємо від джерела сталої електричної напруги;

- під'єднуємо терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача до входу порогового пристрою;

- визначаємо температуру спрацьовування T_c пожежного сповіщувача відповідно до виразу

$$T_c = T_{cmin} U_c U_{min}^{-1} = T_{cmax} U_c U_{max}^{-1}; \quad (5.7)$$

- визначаємо величину часового параметра – часу спрацьовування пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом відповідно до виразу:

$$t_c = (T_c - T_0) a^{-1} + \tau, \quad (5.8)$$

де: T_0 – початкове значення температури (згідно із ДСТУ EN 54-5:2003 $T_0 = 25^\circ\text{C}$);

a – швидкість зростання температури (величини параметрів a наведено в розділі 1).

До позитивних властивостей імпульсного методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом слід зарахувати:

- прості формування тест-сигналу, на відміну, наприклад, від методу, який передбачає використання теплової камери;
- стабільність характеристик (параметрів) тест-сигналу, на відміну, наприклад, від методу, який передбачає використання теплових осередків пожеж;
- для всього масиву значень швидкості зміни температури a (згідно з ДСТУ EN 54-5:2003) час визначення такого часового параметра, як час спрацювання пожежного сповіщувача, є однаковим, на відміну від методу, згідно з ДСТУ EN 54-5:2003, для якого час визначення може змінюватись на два порядки;
- метод дає змогу визначати часові параметри пожежних сповіщувачів безпосередньо на об'єктах, які охороняються;
- при реалізації методу безпосередньо на об'єктах, які охороняються, можлива повна його автоматизація;
- реалізація методу визначення часових параметрів на об'єктах, які охороняються, забезпечує одержання кількісних оцінок величин цих параметрів.

5.4. Експериментальне дослідження процесу визначення часових параметрів пожежного сповіщувача з терморезистивним чутливим елементом

5.4.1. Постановка задачі та її розв'язання.

Метою дослідження є встановлення залежності часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів у разі пожежі у приміщенні від висоти та відстані їх розміщення від потенційного осередку пожежі [99].

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити методику проведення експериментального дослідження для виявлення залежності часу спрацювання пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом у разі пожежі в приміщеннях від відстані та висоти їх розміщення від потенційного осередку пожежі;
- провести експериментальні дослідження для виявлення залежності часових параметрів пожежних сповіщувачів;

– обробити отримані результати експериментального дослідження, що надалі дасть змогу порівняти фактичні часові параметри та параметри які використані за допомогою процедури імпульсного методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

5.4.2. Вибір об'єкта для проведення експериментального дослідження.

Дослідження проводились в приміщеннях ТзОВ «Науково-випробувального центру «Євростандарт», що розташований в с. Черляни Городоцького району Львівської області. Експериментальні дослідження проводились в приміщенні, розташованому в окремій будівлі розміром 52х24х12,4 м. Будівля триповерхова. На першому поверсі розташоване основне приміщення, на другому і третьому поверхах розташовані адміністративно-побутові приміщення випробувального центру. За інженерно-геологічними умовами цю ділянку слід віднести до першої категорії. Із заходу приміщення межує з закинутим адміністративним приміщенням, зі сходу ведеться сільське господарство, з півночі та півдня - зі складом. Рельєф ділянки рівнинний. До будівлі підведені підземні комунікації, такі як водопостачання та каналізація, електропостачання, газопостачання. Кабелі та електрообладнання будівлі захищені плавкими вставками, запобіжниками та автоматичними вимикачами, ПЗВ, які занулені та заземлені відповідно.

Конструктивна схема будівлі складається з рамкового металевих каркасу, колони металеві, які зварені з двотаврів. Стіни виконані з сендвіч-панелей з пінополістиролу. По завершенні експерименту для видалення продуктів горіння використовувалась система димовидалення та металеві ворота розміром 6,3 х 4,2 м. Схема побудови пожежної сигналізації передбачає її захист від реагування на інші явища, які не пов'язані з пожежею та її небезпечними факторами.

5.4.3. Експериментальне дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.

Метою проведення експерименту є отримання залежності часу спрацювання пожежного сповіщувача $\tau_{сп}$, с від відстані вертикальної осі осередку пожежі l , м та від висоти розміщення пожежного сповіщувача над підлогою h , м (рис. 5.16).

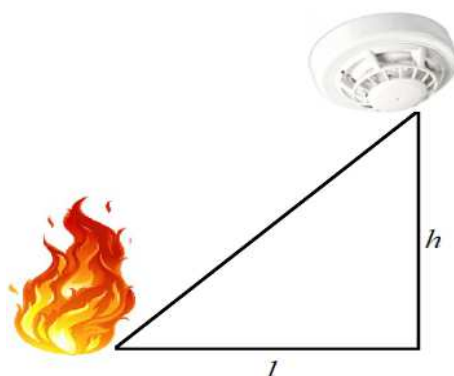


Рисунок 5.16 – Розміщення пожежного сповіщувача відносно осередку пожежі

Експериментальні дослідження визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом проводимо в закритому приміщенні із температурою, яка не перевищує мінімальний поріг спрацювання сповіщувача. Під час проведення експерименту змінюємо відстань осередку пожежі від пожежного сповіщувача та висоту розміщення пожежних сповіщувачів. Тому рівні зміни факторів наведені у таблиці 5.5

Таблиця 5.5

Рівні зміни факторів

Рівні факторів	l , м		h , м	
	$\tilde{x}_1$	$\ln \tilde{x}_1$	$\tilde{x}_2$	$\ln \tilde{x}_2$
Верхній (+)	10	2.30	8	2,08
Нульовий (0)	5,5	1.7	6	1,79
Нижній (-)	1	0	4	1,39

Для проведення експериментального дослідження побудуємо СПС, до якої відносяться:

- прилади приймально-контрольні пожежні (ППКП) – які здійснюють контроль за станом системи (шлейфи, сповіщувачі) та приймають рішення про виникнення пожежі;
- теплові сповіщувачі різних типів – реагують на небезпечні фактори пожежі такі як тепло, відкрите полум'я;
- шлейфи пожежної сигналізації (ШС) – дротяний зв'язок ППКП з сповіщувачами;
- оповіщувачі звукові і світлозвукові, які здійснюють оповіщення про спрацювання СПС та призначені для евакуації людей при пожежі.

Дослідження проведемо для різних типів теплових пожежних сповіщувачів (адресних пожежних сповіщувачів (АПС) і неадресних) та ППКП до них. В експериментальних дослідженнях для побудови СПС використане сертифіковане в Україні протипожежне обладнання.

Для прийняття та виведення сигналу про пожежу у приміщенні змонтовано СПС з ППКП, а саме: прилад пожежної сигналізації Тірас -8П [100]-для під'єднання сповіщувачів ТПТ-3 [101], прилад пожежної сигналізації Омега [102]-для під'єднання сповіщувачів СПТТА [103] (рис. 5.17).



а)



б)



с)



д)

Рисунок 5.17 – ППКП та пожежні сповіщувачі, що використані при проведенні експерименту: а) ППКП неадресний Тірас-8П; б) сповіщувач пожежний тепловий неадресний ТПТ-3; с) ППКП адресний Омега; д) сповіщувач пожежний тепловий адресний СПТТА [99]

Технічні характеристики приладів які використані при проведенні експериментального дослідження.

ППКП Тірас -8П [100]:

- інформаційна ємність (кількість зон), 8 од;
- максимальна кількість сповіщувачів в зоні, 32 од;
- величина струму по виходу «ЖСП», не більше 400 мА;
- величина струму по виходу «+12В», не більше 250 мА;
- величина струму по виходу «ОПОВ», не більше 500 мА;
- величина напруги в колі виявлення в режимі спокою, 8,8-12,6 В;
- величина струму в колі виявлення в режимі спокою, 4,1-10,3 мА;
- опір втрат між проводами зон, не менше 50 кОм;
- опір проводів зон, не більше 220 Ом;
- час реакції зони на тривогу (несправність), не більше 2 с;
- час визначення несправностей, не більше 80 с;
- струм споживання МРЛ-2 (МРЛ-2.1), не більше 60 мА;
- струм споживання МЦА, не більше 40 мА.

Пожежні сповіщувачі неадресного типу ТПТ-3 [101]:

- спосіб підключення до ППКП: двох провідний ШС;
- діапазон статичної температури спрацювання, 54–70 °С ;
- діапазон напруги живлення, 9–30 В;
- струм споживання в черговому режимі при максимальній напрузі живлення 30 В, не більше 0,15 мА;
- струм споживання в режимі «ПОЖЕЖА» встановлюється зовнішнім резистором в діапазоні значень, 5–30 мА;
- внутрішній опір в режимі «ПОЖЕЖА» при струмі 20 мА, не більше 500 Ом;
- середній термін служби, не менше 10 років;
- підключення до ШС за допомогою гвинтового з'єднання. До одного гвинтового з'єднання можна підключати до трьох проводів з перерізом від 0,2 мм² до 0,5 мм²;

- режим «ПОЖЕЖА» відображається світінням червоного оптичного індикатора;
- сповіщувач забезпечує індикацію чергового режиму роботи короткочасними спалахами червоного оптичного індикатора;
- сповіщувач розрахований на безперервну цілодобову роботу з ППКП по двопровідному ШС з номінальною напругою живлення шлейфа 12 В або 24 В.

ППКП Омега [102] :

- основне джерело живлення, 220 В;
- потужність яка споживається, не більше 30 Вт;
- резервне джерело живлення, акумулятор 12 В, 7А/ч;
- виходи : для підключення адресних сповіщувачів, 8 ліній (кілець) по 60 сповіщувачів;
- живлення зовнішніх приладів, 12 В, 0,5А;
- канал зв'язку із зовнішніми приладами, RS485 A4/B4;
- міжсистемний канал зв'язку, RS485 A3/B3;
- технологічний канал зв'язку, USB 2.0;
- карт-ридер SD/SDHC, карт.

Для розміщення сповіщувачів вибрано місця, в яких забезпечуються :

- мінімальні вібрації будівельних конструкцій;
- виключене потрапляння на корпус води;
- максимальне віддалення від джерел електромагнітних завад (електропроводка і т.п.), інфрачервоного випромінювання (теплові прилади).

Адресні пожежні сповіщувачі (АПС) СПТТА [103] :

- спосіб підключення до ППКП по ШС з однополярною імпульсною напругою 12В (+1,6В / -1,4В);
- струм споживання в черговому режимі не перевищує 0,25 мА, в тривожному – 8,0 мА;
- підключення приладу по сигнальному шлейфу виконується проводом з перерізом жили не більше 1,5 мм;
- діапазон робочих температур, -30...+65°C;

- середній термін служби, не менше 12 років.

Сповісники під'єднані до ШС за допомогою гвинтового з'єднання.

Пожежні сповісники з'єднано з ШС за допомогою баз. Кабелі живлення до ППКП та ШС прокладені відповідно до вимог.

Для прийняття та виведення сигналу про пожежу у приміщенні змонтовано ППКП для адресної системи на базі Омега, для неадресної системи ППКП на базі Тірас.

Для світлозвукового оповіщення спрацювання автоматичної пожежної сигналізації використовувались внутрішні та зовнішні сповісники. Для внутрішнього світлозвукового оповіщення використовувався сповісник ОСЗ-12 "Вихід" [104], який використовується як інформаційне табло для світло звукового оповіщення в системах автоматичної пожежної сигналізації та управління евакуацією. Світлозвуковий оповісник вмикається за сигналом з центрального блока. Джерелом звукового сигналу є сирена, підсвічування реалізоване SMD-світлодіодами. Розрахований на безперервну цілодобову роботу в закритих приміщеннях.

Основні технічні характеристики ОСЗ-12 "Вихід" :

- робоча напруга: 9 В - 15 В;
- струм: 0,1 А;
- матеріал корпусу: пластик;
- рівень звуку: 80 дБ;
- тип освітлення: аварійний;
- тип лампи : сигнальний;
- споживана потужність: 1,5 Вт;
- діапазон робочих температур: -10 ° С ~ +55 ° С;
- габаритні розміри: 32 x 280 x 100 мм;
- маса: 0,25 кг.

Для зовнішнього світлозвукового оповіщення використовувався сповісник «Джміль-2»[105]. Оповісники призначені для безперервної цілодобової роботи в черговому режимі всередині та зовні приміщень. Діапазон

робочих температур-від мінус 25°C до 70°C. Оповіщувачі мають пристрій виявлення розкриття корпусу та пристрій виявлення відривання корпусу від місця встановлення (клеми ТАМР).

Основні технічні характеристики «Джміль-2»:

- напруга живлення постійного струму, В–9–15;
- споживаний струм, А–не більше 0,07;
- споживаний струм виносного світлодіода (клеми LED, GND), мА–не більше 5–25;
- споживана потужність, Вт–не більше 1,05;
- середньозважений рівень звуку на відстані 1 м по осі, перпендикулярній до лицьової поверхні корпусу, дБ–не менше 80;
- основна звукова частота, кГц–2,5 – 4,5;
- габаритні розміри, мм–106 х 88 х 40;
- маса нетто, кг, –не більше 0,3;
- ступінь захисту корпусу–IP33С;
- середній строк експлуатації, років–1

Сповіщувачі розміщені на ШС на висоті 4 та 8 м (рис. 5.18). Відстань між сповіщувачами–7 м.

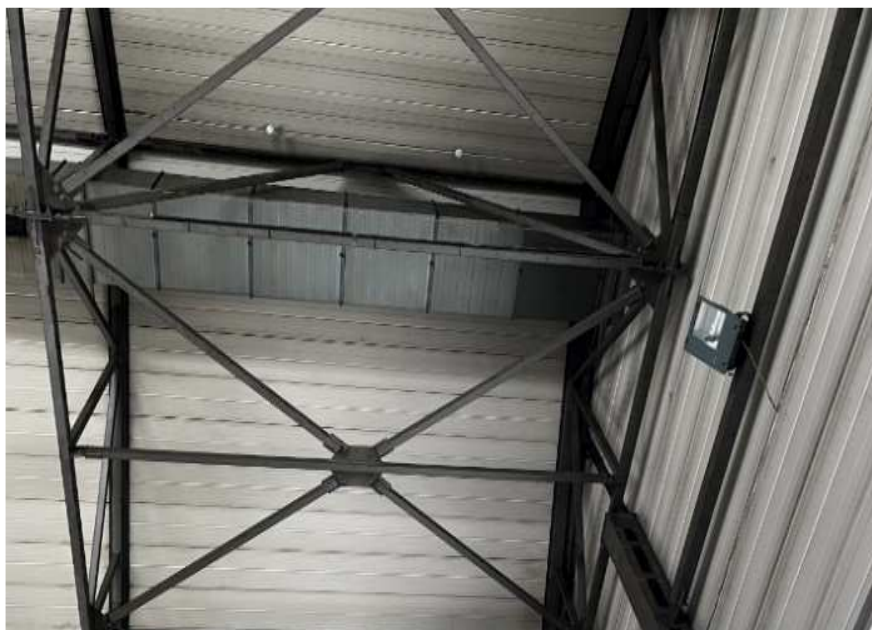


Рисунок 5.18 – Розміщення пожежних сповіщувачів на висоті 4 та 8 м [99]

Схема підключення сповіщувачів до ППКП зображена на рис. 5.19.

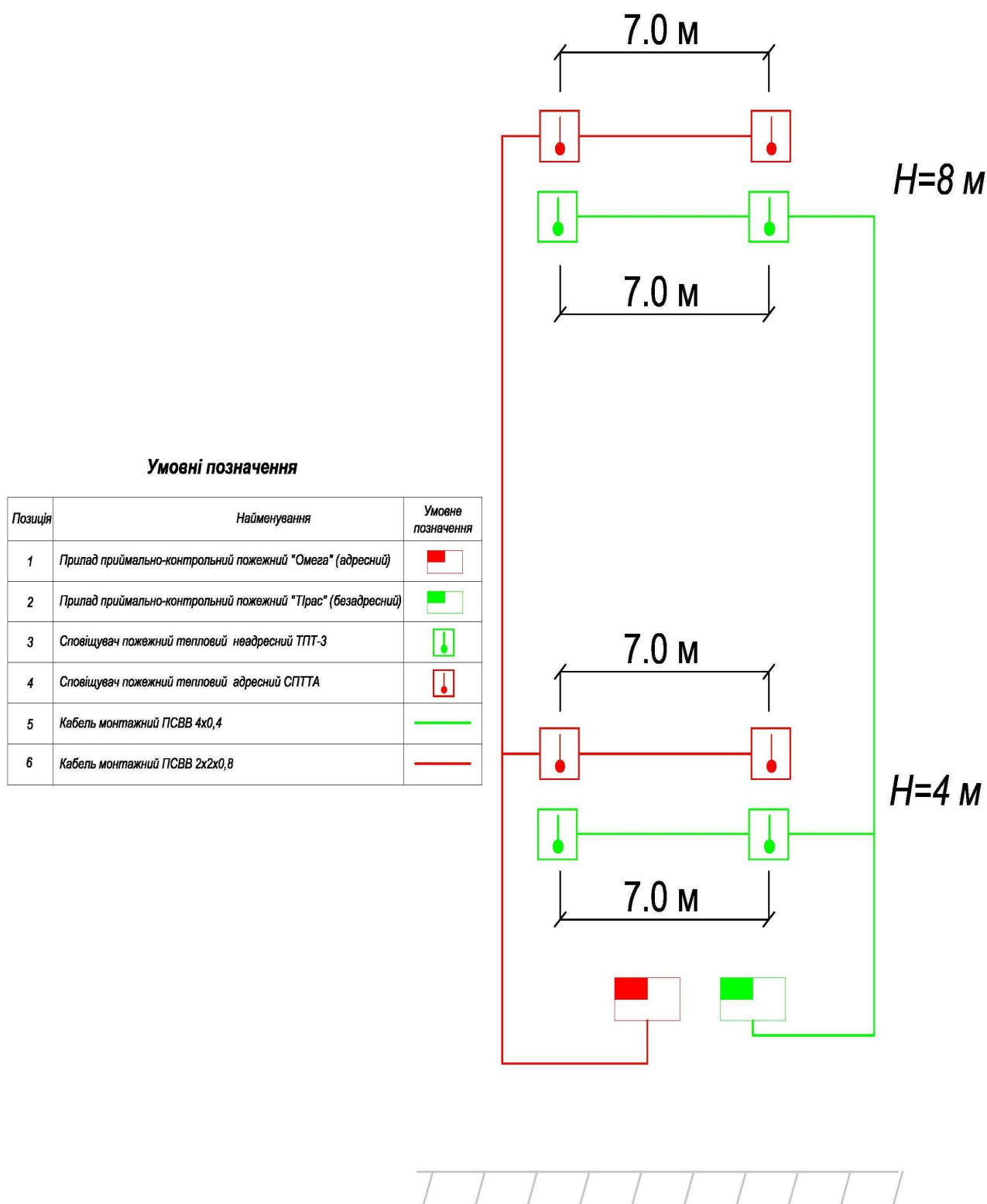


Рисунок 5.19 – Схема підключення сповіщувачів до ППКП [99]

В якості горючого матеріалу для проведення експериментального дослідження використовувалась деревина. Модельне вогнище типу 1А складене з

дерев'яних брусків перерізом 40х40 мм та довжиною 500 мм, які розміщені у вигляді решітки із 12 рядів по 6 шт. у кожному ряді (рис. 5.20). Під дерев'яні бруски встановлено піддон 400х600 мм, який для підпалювання деревини наповнювали бензином А-95 об'ємом 1 л.



Рисунок 5.20 – Експериментальне дослідження часу спрацювання адресного пожежного сповіщувача : а) модельне вогнище для проведення експерименту; б) виконання експерименту [99]

Результати дослідження часу спрацювання адресного пожежного сповіщувача (АПС) наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

Дослідження часу спрацювання АПС

Дослід	(l) x_1		(h) x_2		Перший дослід $\tau_{сп, с}$	Другий дослід $\tau_{сп, с}$	Середнє значення $\tau_{сп. сер, с}$	Lп ($\tau_{сп.сер}$)
	Код x_1	Значення	Код x_2	Значення	Результат		Код x_1	Значення
1	-1	1	-1	4	70	71	70,5	4,26
2	+1	3,5	-1	4	274	276	275	5,62
3	-1	1	+1	8	123	122	122,5	4,80
4	+1	3,5	+1	8	418	421	419,5	6,04

Результати дослідження часу спрацювання неадресного теплового пожежного сповіщувача ТПТ-3 наведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Дослідження часу спрацювання неадресного теплового пожежного сповіщувача

Дослід	(l) x_1		(h) x_2		Перший дослід $\tau_{сп, с}$	Другий дослід $\tau_{сп, с}$	Середнє значення $\tau_{сп, сер, с}$	L_n ($\tau_{сп, сер}$)
	Код x_1	Значення	Код x_2	Значення	Результат		Код x_1	Значення
1	-1	1	-1	4	72	74	73	4,29
2	+1	3,5	-1	4	276	279	277,5	5,63
3	-1	1	+1	8	121	123	122	4,80
4	+1	3,5	+1	8	417	419	418	6,04

5.4.4. Результати експериментальних досліджень

Перевірка відтворюваності дослідів при однаковому числі паралельних дослідів на кожному поєднанні рівнів факторів здійснювалась за критерієм Кохрена. Також здійснена оцінка значущості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стюдента. Для перевірки адекватності представлених моделей використано критерій Фішера.

Результати експерименту дали можливість розмістити теплові пожежні сповіщувачі у такий спосіб, щоб відбувалось їх якнайшвидше спрацювання. Зменшення часу виявлення загорання пришвидшить реагування, адже раннє виявлення небезпечних чинників пожежі мінімізує ризики для життя та здоров'я людей та зменшує можливі матеріальні втрати.

Метод, представлений у роботі, є об'єктно-орієнтований і спрямований на фактичне визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів. Обмеженнями цього дослідження є те, що його результати можна застосовувати для приміщень висотою до 8 м.

В перспективі розвитком цього дослідження є серія експериментів для приміщень різної висоти із зміною горючого матеріалу із параметрами масової швидкості вигорання у більш широкому діапазоні, що дозволить отримати параметри та кількісні оцінки для визначення часових параметрів пожежних

сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом .

5.4.5. Порівняння результатів експериментальних досліджень з результатами, отриманими в роботі

Таблиця 5.8

Порівняння результатів експериментальних досліджень з результатами, отриманими в роботі для АПС

Дослід	Експериментальні дослідження					Теоретичні дослідження			Відносна похибка, %
	(l), м	(h),м	Перший дослід τ _{сп, с}	Другий дослід τ _{сп, с}	Середнє значення τ _{сп. сер, с}	Перший дослід τ _{сп, с}	Другий дослід τ _{сп, с}	Середнє значення τ _{сп. сер, с}	
	Значення	Значення	Результат			Результат			
1	1	4	70	74	72	64	66	65	9,6
2	3,5	4	278	280	279	259	256	257,5	7,7
3	1	8	128	125	126,5	118	116	117	7,5
4	3,5	8	421	425	423	395	398	396,5	6,3

Таблиця 5.9

Порівняння результатів експериментальних досліджень з результатами, отриманими в роботі для неадресного пожежного сповіщувача

Дослід	Експериментальні дослідження					Теоретичні дослідження			Відносна похибка, %
	(l), м	(h),м	Перший дослід τ _{сп, с}	Другий дослід τ _{сп, с}	Середнє значення τ _{сп. сер, с}	Перший дослід τ _{сп, с}	Другий дослід τ _{сп, с}	Середнє значення τ _{сп. сер, с}	
	Значення	Значення	Результат			Результат			
1	1	4	74	76	75	69	71	70	6,7
2	3,5	4	281	284	282,5	268	265	266,5	5,7
3	1	8	128	123	125,5	114	117	115,5	8
4	3,5	8	425	429	427	409	406	407,5	4,6

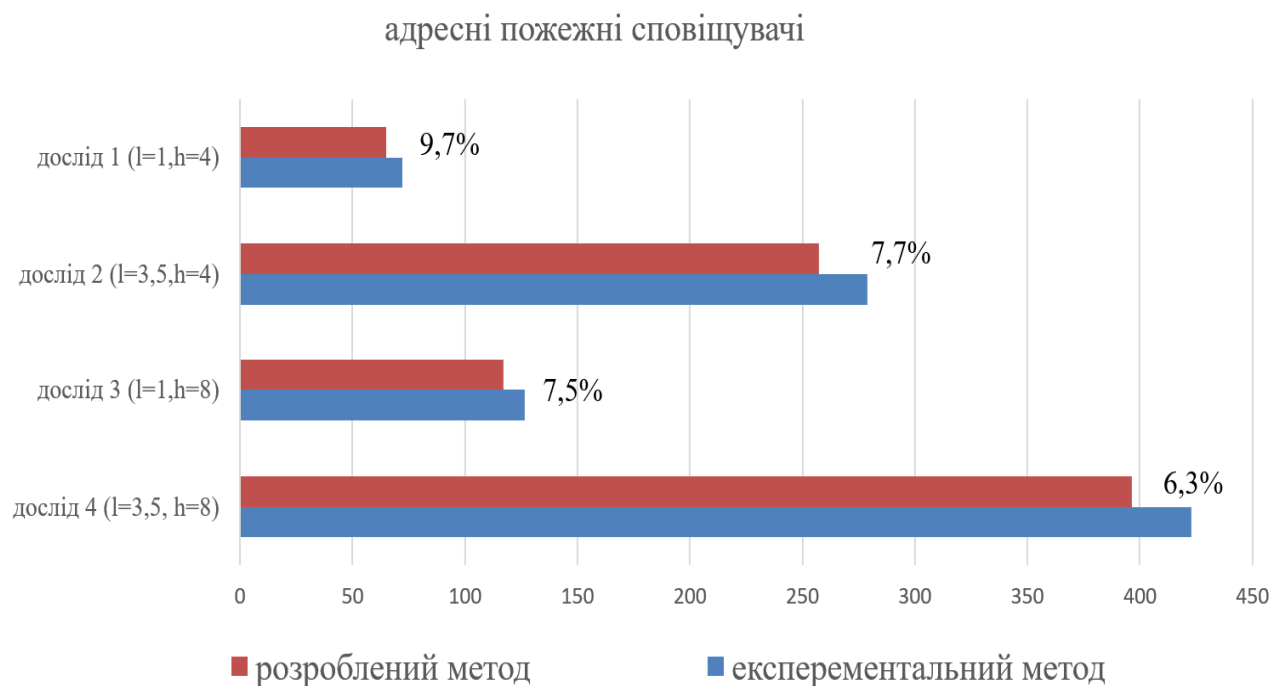


Рисунок 5.21 – Порівняльна діаграма отриманих в роботі результатів з експериментальними для АПС

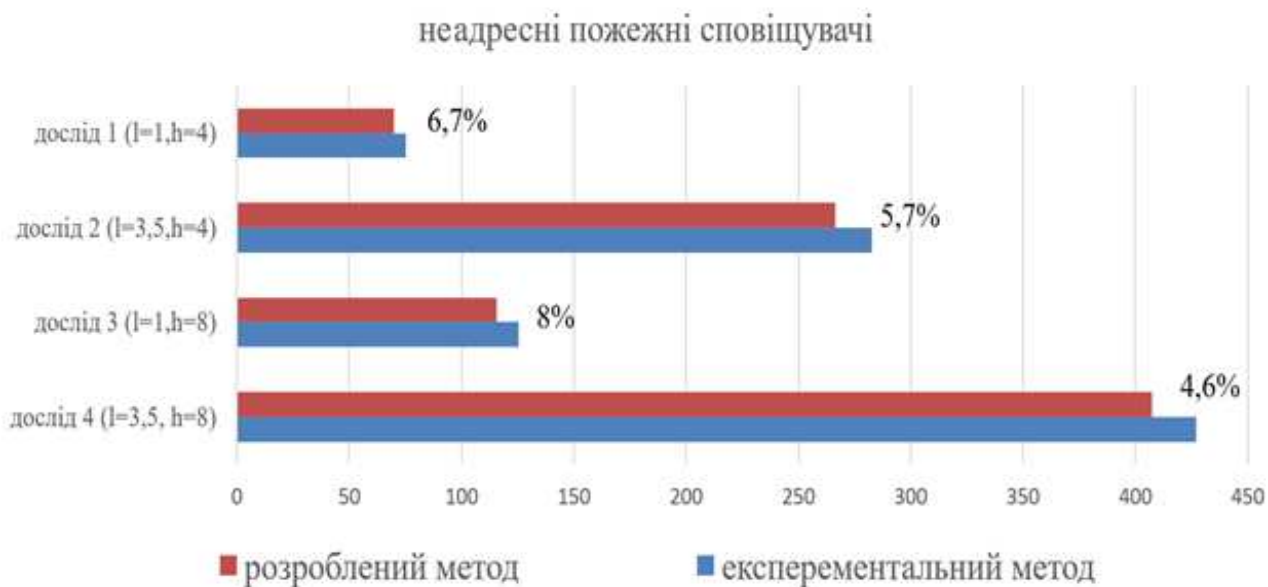


Рисунок 5.22 – Порівняльна діаграма отриманих в роботі результатів з експериментальними для не адресних пожежних сповіщувачів

Висновки до п'ятого розділу

1. Створені із використанням пакета Simulink імітаційні моделі 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. Показано, що 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.

4. 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.

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

6. Показано, що розроблений метод дає змогу визначати кількісні оцінки часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом в автоматичному режимі і безпосередньо на об'єкті, що охороняється.

7. Проведення експериментального дослідження дало можливість встановити залежність часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів (адресних та неадресних) при пожежі у приміщеннях від відстані та висоти їх розміщення до потенційного осередку пожежі.

8. Експериментальні дослідження показали, що час спрацювання будь-якого пожежного сповіщувача є меншим при зменшенні відстані від вертикальної осі сповіщувача та при монтуванні сповіщувачів ближче до перекриття.

9. Результати, отримані в роботі, порівняли з експериментальними дослідженнями та встановили, що максимальна похибка для адресних пожежних сповіщувачів становитиме 9,7%, а для неадресних пожежних сповіщувачів – 8%.

ВИСНОВКИ

У роботі отримано нові наукові результати, що сукупно забезпечують розв'язання наукової задачі обґрунтування імпульсного методу визначення часових параметрів – часу спрацьовування та постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, в основі якого лежить використання ефекту Джоуля-Ленца.

1. На підставі аналізу методів визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів встановлено, що їх реалізація здійснюється шляхом стаціонарних (автономних) або оперативних (об'єктових) випробувань пожежних сповіщувачів, а такий часовий параметр як постійна часу, незважаючи на його нормування, не визначається. Показано, що тепловий вплив на чутливий елемент пожежних сповіщувачів може здійснюватися за допомогою як зовнішніх, так і внутрішніх джерел тепла, зокрема, із використанням ефекту Джоуля-Ленца, що характерно для терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів.

2. Для опису теплових процесів в терморезистивному чутливому елементі пожежних сповіщувачів внаслідок теплової дії електричного струму, що протікає через нього, із використанням інтегрального перетворення Ханкеля створено математичну модель, яка представлена у вигляді ряду функцій Бесселя. Така математична модель є основою для побудови передаточної функції терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів, яка апроксимована передаточною функцією аперіодичної ланки, коефіцієнт передачі якої із похибкою, величина якої не перевищує 4,6 %, може бути представлений у вигляді двох мультиплікативних складових, одна з яких є постійною часу терморезистивного чутливого елемента.

3. Із використанням інтегрального перетворення Лапласа розроблено математичні моделі, що описують реакції терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів на теплову дію одиночних імпульсів електричного струму, які мають форму чверті синусоїди, чверті косинусоїди і прямокутного трикутника. Сформовані чотири варіанти алгоритмів для реалізації методу визначення

постійної часу терморезистивного чутливого елемента і показано, що перевагу слід віддати варіанту, який передбачає використання інформації про прояви теплової дії таких імпульсів електричного струму у два апріорі задані моменти часу, один із яких дорівнює половині, а другий – трьом чвертям тривалості імпульсу електричного струму.

4. Показано, що 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 %.

5. Із використанням пакета візуального програмування Simulink у середовищі Matlab створені імітаційні моделі для визначення часового параметра пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, за допомогою яких визначено оптимальну величину тривалості одиночного імпульсу електричного струму, що протікає через нього. Показано, що тривалість імпульсу електричного струму і часовий параметр – постійна часу терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів, пов'язані між собою із коефіцієнтом, величина якого лежить у діапазоні 5,0–5,5.

6. Наведено послідовність процедур, реалізація яких забезпечує визначення оцінок часових параметрів – часу спрацьовування і постійної часу пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, незалежно від виду їх випробувань, яка відкриває можливості для повної автоматизації цього процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коваль Ю. М. Наука та інновації. *Інноваційні проекти Національної академії наук України*. К., 2005. № 2. С. 80–95.
2. Баканов В. Особливості вибору, застосування та побудови теплових пожежних сповіщувачів. URL : <https://arton.com.ua/downloads/publications/>
3. Абрамов Ю. А., Тищенко Е. А., Борисова А. С. Обобщенные математические модели терморезистивных чувствительных элементов пожарных извещателей при внутреннем тепловом воздействии. *Чрезвычайные ситуации: Образование и наука*. Гомель, 2014. Т.9. Вып. 1. 3–9 с.
4. Фреїк Д. М., Никируй Л. І., Галушак М. О., Матеїк Г. Д. Досягнення і проблеми термоелектрики II. Основні положення теорії термоелектричних явищ. *Фізика і хімія твердого тіла*. Чернівці, 2012. Т. 13. № 3. С. 574–585.
5. Абрамов Ю. А. Основы пожарной автоматики. Харьков: ХНПБ, 1993. 288 с.
6. Зачек І. Р., Лопатинський І. Є., Юр'єв С. О., Кусьнеж В. В. Фізика у таблицях : навч. посіб. Львів, 2018. 152 с.
7. ДСТУ 2276:2006. Видання. Система стандартів безпеки праці. Пожежна техніка. Терміни та визначення основних понять. Київ, 2007. 44 с.
8. Сповіщувач пожежний тепловий точковий ТПТ-3. Паспорт. Інструкція з експлуатації. URL: https://ua.arton.com.ua/files/passports/tpt-3_new_pas_ukr.pdf
9. ДБН В.2.5-56:2014. Видання. Системи протипожежного захисту. Київ, 2015. 127 с.
10. Сповіщувач пожежний тепловий точковий адресний СПТТА. Паспорт. URL : https://www.proektao.com.ua/files/Pasport_IPTTA.pdf
11. ДСТУ EN 54-5:2003 Системи пожежної сигналізації. 4.5. Сповіщувачі пожежні, теплові точкові (EN 54-5:2000, IDT). [чинний від 2003-16-12)] Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 162 с.
12. Hong, Sung Ho, Kim, Dong Suck, and Choi, Ki Ok. (2017). A Study on the Classification of Domestic Fire Detector using Response Time Index. *Journal of the*

Korean Society of Safety. 32(2). P. 46–51. URL :
<https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2017.32.2.46>

13. Баканов В. В. Особливості вибору, застосування та побудови теплових пожежних сповіщувачів. *Пожежна безпека. Охорона праці*. Київ, 2011. № 8. С. 34–36.
14. Терлецький Т. В., Федорчук-Мороз В. І., Кайдик О. Л. Системи пожежної сигналізації : підручник. Луцьк, 2022. 130 с.
15. Holz, Kunstffverlarb Multisensor reagirt auf Brandgas und Warme, 2003. 38. № 2. P. 84–95.
16. Компоненти систем протипожежного захисту. Розділ 5.4 Теплові пожежні сповіщувачі. Частина 4. [Електронний ресурс]. URL: https://arton.com.ua/files/redactor/komponenty_spz_54.pdf.
17. Христич В. В., Дерев'янюк О. А., Бондаренко С. М., Антошкін О. А. Системи пожежної та охоронної сигналізації : навч. посіб. Черкаси : Академія пожежної безпеки України, 2007. 87 с.
18. Бахмач Е. С., Маршевський М. І., Розен Ю. В., Сиора А. А., Шаганов Н. Н., Філін Ю. В. Забезпечення й оцінка безпеки систем пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння у приміщеннях АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека* : науково-технічний журнал. Т. 11. № 1. 2008. С.35–53.
19. Гуліда Е. М., Козак Я. Я., Васильєв М. І. Дослідження межі вогнестійкості сухої стінки резервуара для зберігання нафтопродуктів. *Пожежна безпека*. Львів: ЛДУБЖ, 2020. № 37. С. 37–43. DOI: <https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.06>
20. Роянов О. М. Пожежна безпека виробництв. Харків, 2016. 419 с.
21. Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки : навч. посіб. / О.П. Михайлюк, В. В. Олійник, І. Я. Кріса та ін. Х. : НУЦЗУ, 2010. 249 с.
22. Куренной Е. В. Определение времени срабатывания точечных тепловых пожарных извещателей максимального типа : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02. Харьков, 2004. 189 с.
23. Maintenance of fire alarm systems. *Fire Safety Eng.* 2003. 10. № 5. P. 3–5.

24. Абрамов Ю. А., Гвоздь В. М., Тищенко Е. А. Повышение эффективности обнаружения пожара по температуре. Харьков: НУГЗУ, 2011. 129 с.
25. Кальченко Я. Ю. Підвищення ефективності системи експлуатації теплових пожежних сповіщувачів шляхом удосконалення методів та способів їх випробувань : дис. ... д-ра філософії за спец. 261 – пожежна безпека. Харків, 2020. 241 с.
26. Любимов Е. М., Пархачов В. В. Вплив матеріалів стін на температуру і тепловий потік в приміщенні при пожежі. *Пожежна безпека*, 2019. № 4 (97). С. 12–18.
27. Lugovkin V. V., Zhuravlev S. Y. Bulatova V. V. Mathematic Simulation of Thermal Sensor Operation at Various Temperature Conditions of Controlled Media. *International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*, 2019. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867603>
28. BRITISH STANDARD BS 5839-1:2002. Fire detection and fire alarm systems for buildings – Part 1: Code of practice for system design, installation, commissioning and maintenance. 415 p.
29. NFPA 72, National Fire Alarm and Signaling Code, 2022 and 2019 Editions. URL: <https://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/72/72-13ROPDraft.pdf>
30. Правила APSAD R7. Автоматичне виявлення пожежі. Затверджено 3 березня 2014. Vertou: CNPP Editions, 2007. 113 с.
31. DIN 14675:2003-11 Системи виявлення пожежі та пожежної сигналізації. Частина 1: Проектування та функціонування. [Чинний від 2018-04-01] Німецька: Benth Verlag GmbH, 2018 p. 80 с.
32. Testing a Fire Detector Sensor: пат. 7609154 B2 USA. № 11/587,461; заявл. 29.04.05; опубл. 27.10.09. 7 с.
33. Testing detectors: пат. 8689602 B2 USA. № 11/663,904. заявл. 27.10.05; опубл. 08.04.14. 7 с.
34. Heat detector tester: пат. 8353625 B1 USA. № 13/251,919; заявл. 03.10.11; опубл. 15.01.13. 9 с.

35. Method and apparatus for checking fire detectors: пат. 3802249 A USA. № 318,357; заявл. 26.12.72; опубл. 09.04.74. 6 с.
36. Method and apparatus for testing heat detectors: пат. 6015230 A USA. № 08/365,933; заявл. 01.10.97; опубл. 18.01.00. 9 с.
37. Method and apparatus for testing heat detectors: пат. 5611620 A USA. № 08/365,933; заявл. 29.12.94; опубл. 18.03.97. 6 с.
38. Sensor test circuit of an alarm system: пат. 4518952 A USA. № 06/527,465; заявл. 29.08.83; опубл. 21.05.85. 5 с.
39. Self diagnostic heat detector: пат. 2206969 A1 Canada. № 2206969; заявл. 04.06.97; опубл. 04.12.98. 17 с.
40. Thermal detector testing device: пат. 8454228 B2 USA. № 12/399,327; заявл. 06.03.09; опубл. 04.06.13. 9 с.
41. Testing a Fire Detector Sensor: пат. 7609154 B2 USA. № 11/587,461; заявл. 29.04.05; опубл. 27.10.09. 7 с.
42. Complex tester for heat and smoke fire-sensing apparatus: пат. 20100259376 A1 USA. № 12/825,847; заявл. 29.06.10; опубл. 14.10.10. 7 с.
43. Device for testing heat detectors, smoke detectors and smoke alarms: пат. 2083990 A1 Canada. № 12/825,847; заявл. 29.06.10; опубл. 14.10.10.
44. Thermal detector testing device: пат. 8454228 B2 USA. № 12/399,327; заявл. 06.03.09; опубл. 04.06.13. 9 с.
45. Method Laser thermal testing method and system for use with a fire alarm system: пат. 4859075A USA. № 07/167,651; заявл. 14.03.88; опубл. 22.08.89. 4 с.
46. ДСТУ-Н CEN/TS 54-14:2009. Видання. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 14. Настанови щодо побудови, проектування, монтування, введення в експлуатацію, експлуатування і технічного обслуговування. (CEN/TS 54-14:2004, IDT). Київ, 2009. 68 с.
47. Тестові прилади для перевірки працездатності теплових пожежних сповіщувачів. URL: <http://www.elfor.ck.ua/produkt/h211>
48. Зведена інформація про виїзди пожежно-рятувальних підрозділів ГУ ДСНС України у Львівській області за 2018-2023 роки.

49. Зведена інформація про виїзди пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України за 2020-2022 роки.
50. Звіт Урядової комісії з розслідування причин виникнення пожежі в Одеському коледжі економіки, права та готельно-ресторанного бізнесу, що сталася 4 грудня 2019 року URL: <https://apostrophe.ua/uploads/image/3f9a2719e51d2537c48546e7a77c1c18.jpg>
51. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/1/1/6/7/4/3/2020-1-30-publicnii-zvit-za-2019-rik-ost-fin.pdf?>
52. Інформація про виникнення пожежі в м. Тернопіль URL: <https://terminovo.te.ua/news/49730/>
53. Інформація про виникнення пожежі в школі на Полтавщині URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0bv6qq5gI3E>
54. Інформація про виникнення пожежі у Хмельницькому коледжі «Львівської політехніки». URL: <https://khm.depo.ua/ukr/khm/u-khmelnitskomu-goriv-koledzh-lvivskoi-politekhniki-foto-video-202304201447576>
55. Verzoni, A. General Electric Warehouse Fire. *National Fire Protection Association NFPA Journal*, 2017. URL: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2017/March-April-2017/Features/GE-Warehouse-Fire>
56. Васильєва О. Е., Козак Я. Я. Аналіз методів визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів. *Комунальне господарство міст*. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. Т. 1. випуск 175, С. 136–144. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-1-175-136-144>
57. Гвоздь В. М., Костенко О. Л., Корниенко Р. В. Определение динамического параметра теплового пожарного извещателя. *Пожарная безопасность* : матер. VI НПК. 2003. С. 248–250.
58. Безуглов О. Е. Методы определения временных характеристик тепловых пожарных извещателей при автономных испытаниях: дис. ... канд. техн. наук : Харьков, 2010. 158 с.

59. Гвоздь В. М., Костенко О. Л. Идентификация динамических характеристик тепловых пожарных извещателей. *Профілактика надзвичайних ситуацій* : тези доповідей науково-практичної конференції. Харків, 2004. С. 61– 62.
60. Коврегин В. В. Температурные объектовые испытания тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02. Харьков, 2008. 174 с.
61. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. Стройиздат, 1990. 421 с.
62. Спосіб визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів: пат. № 116932 Україна. № 201607780; заявл. 14.07.2016; опубл. 25.05.2018. Бюл. № 10. 5 с.
63. Спосіб визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів: пат. № 110086 Україна. № 201413822; заявл. 23.12.2014; опубл. 10.11.2017. Бюл. № 21. 5 с.
64. Абрамов Ю. А., Коврегин В. В., Садковой В. П. Температурные объектовые испытания тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом. Харьков : УГЗУ, 2009. 115 с.
65. Абрамов Ю. А., Гвоздь В. М. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний. Харьков, 2005. 121 с.
66. Коврегин В. В., Абрамов Ю. А. Математическое обеспечение испытаний тепловых пожарных извещателей. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков : УГЗУ, 2007. Вып. 22. С. 94–100.
67. Кальченко Я. Ю., Абрамов Ю. А. Идентификация динамического параметра пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков: УГЗУ, 2015. Вып. 37. С. 71–74.
68. Пількевич І. А., Молодецька К. В., Сугоняк І. І., Лобанчикова Н. М. Основи побудови автоматизованих систем управління : навч. посіб. Житомир, 2014. 178 с.
69. Кузавков В.В., Янковський О. Г., Болотюк Ю. В. Обґрунтування вибору показників оцінки ефективності функціонування автоматизованої системи

- контролю. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони* № 2 (44). 2022. с. 21-27. URL: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-44-2-21-27>
70. Тимчик Г. С., Скицюк В. І., Ключко Т. Р. Перетворювачі автоматичних систем : навч. посіб. Київ, 2022 70 с.
71. Новський В. О., Ільїна Н. О. Мікропроцесорні пристрої : навч. посіб. Київ, 2017. 243 с.
72. Бондаренко І. М., Бородін О. В., Карнаушенко В. П. Мікропроцесорні системи контролю та керування : навч. посіб. Харків, 2020. 248 с.
73. Dinh T., Phan H., Qamar A., Woodfield P., Nguyen N., 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: <https://doi.org/10.1109/JMEMS.2017.2710354>
74. 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>
75. Кухлинг Х. Справочник по физике. 2-е изд. М.: Мир, 1985. 520 с.
76. Соколович Ю. А., Богданова Г.С. Фізика : навч.-практ. довідник. Х.: Видавництво «Ранок», 2010. 384 с.
77. Васильєва О. Е., Козак Я. Я. Теплові процеси терморезистивних чутливих елементів пожежних сповіщувачів. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023, № 1 (013), С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.280223.22.915>
78. Гільчук А. В., Халатов А. А. Теорія теплопровідності : навч. посіб. Ч.1. Київ, 2017. 86 с.
79. Піх С. С., Попель О. М., Ровенчак А. А., Тальянський І. І. Методи математичної фізики : навч. посіб. Львів, 2011. 403 с.
80. Вайсфельд Н. Д., Реут В. В. Рівняння математичної фізики : навч.-метод. посіб. Одеса, 2018. 194 с.
81. Куц Ю. В., Лисенко Ю. Ю. Спеціальні розділи математики : навч. посіб. Київ, 2022. 180 с.

82. Швець Т. В. Вища математика: операційне числення : навч. посіб. Одеса, 2015. 144 с.
83. 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: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244235>
84. Баланенко І. Г., Горбонос С. О., Сясєв А. В. Диференціальні рівняння : навч. посіб. Дніпропетровськ, 2020. 88 с.
85. Кулик Г. М., Кушлик-Дивульська О. І., Степаненко Н. В., Ярема Н. П. Вища математика: Інтегральне числення функції однієї змінної. Диференціальні рівняння : навч. посіб. Київ, 2016. 272 с.
86. Массалітіна Є. В., Кільчинський О. О. Операційне числення. Теорія та методика розв'язування задач : метод. посіб. Київ, 2018. 88 с.
87. 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.
88. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. СОЛОН-ПРЕСС, 2006. 456 с.
89. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. СОЛОН-ПРЕСС, 2005. 576 с.
90. Журавська Г. В., Карпалюк Т. О., Копась І. М., Рева Н. В. Операційне числення : навч. посіб. Київ, 2018. 79 с.
91. Павленко А. В., Кагадій Л. П., Копорулін В. Л. Операційне числення : навч. посіб. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2012. 42 с.
92. Верьовкіна Г. В. Ряди та інтеграли функцій комплексної змінної : навч. посіб. Київ, 2019. 48 с.
93. Козак Я. Я. Імпульсний метод визначення часових параметрів теплового пожежного сповіщувача. *Комунальне господарство міст*. 2021. Т. 4, вип. 164. с. 153–157. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-153-157>

94. Козак Я. Я. Температурна похибка при визначенні часового параметра пожежного сповісчувача із терморезистивним чутливим елементом. *Комунальне господарство міст*. 2021. Т. 6, вип. 166. с. 151–155. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-6-166-151-155>
95. Kushnir A., Kopchak B., Gavryliuk A. Development of Operation Algorithm of Heat Detector with Variable Response Parameters. *IEEE XVIth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, 2020. P. 154–159. DOI: <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH49584.2020.9109436>
96. 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
97. Kushnir A., Kopchak B., 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>
98. Васильєва О. Е., Коваль О. М., Козак Я. Я. Імітаційна модель процесу визначення часового параметра пожежного сповісчувача. *Пожежна безпека*. Львів : ЛДУ БЖД, 2023. № 42. С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.32447/20786662.42.2023.02>
99. Васильєва О. Е., Коваль О. М., Козак Я. Я. Експериментальні дослідження процесу визначення часових параметрів пожежного сповісчувача за допомогою імпульсного методу. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*, Черкаси : ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля ХНУЦЗУ, 2023. том 7, № 1. С. 7–14. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.7.14>
100. Компанія ТзОВ «Тірас-12». URL: [Тірас-8П | TIRAS](https://tirac-8p.com.ua)
101. Компанія ПП «АРТОН». URL: [ТІІТ-3 | Артон \(arton.com.ua\)](https://arton.com.ua)
102. Компанія ООО «Проект АО». URL: [ТОВ "Проект АТ" : Прилади АСПБ "ОМЕГА" \(proektao.com.ua\)](https://proektao.com.ua)

103. Компанія ООО «Проект АО». URL: ТОВ "Проект АТ" : Сповіщувачі пожежні теплові адресні (proektao.com.ua)
104. Компанія ТзОВ «Тірас-12». URL: <https://tiras.technology/products/osz/>
105. Компанія ТзОВ «Тірас-12». URL: <https://tiras.technology/devices/dzhmil/>

ДОДАТОК А
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності,
кандидат технічних наук, доцент,
полковник служби цивільного захисту



Дмитро ЧАЛИЙ

08

2023р.

АКТ

про застосування у навчальному процесі результатів дисертаційного дослідження
Козака Ярослава Ярославовича, яке представлене на здобуття наукового ступеня
доктора філософії

Комісія у складі: начальника навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, к.т.н., доцента, полковника служби цивільного захисту Андрія ЛІНА, начальника докторантури, ад'юнктури, к.т.н. підполковника служби цивільного захисту Юрія КОПИСТИНСЬКОГО, завідувача кафедри прикладної математики та механіки, д. ф-м. н, професора Романа ТАЦІЯ встановила, що методи і способи які застосовуються в дисертаційному дослідженні ад'юнкта денної форми навчання, підполковника служби цивільного захисту Ярослава КОЗАКА, використовуються в навчальному процесі підготовки фахівців, а саме:

- під час підготовки докторів філософії при здобутті вищої освіти за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» в межах вивчення навчальної дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень»;
- під час підготовки магістрів при здобутті вищої освіти за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» в межах вивчення навчальної дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень і теорія інженерного експерименту».

У зазначених вище курсах навчальних дисциплін застосовуються наведені в дисертаційній роботі методичні підходи та основні теоретичні положення визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом та імітаційні моделі які реалізовані в пакеті візуального програмування. Результати які отримані в дисертаційному дослідженні, дають змогу здобувачам вищої освіти, більш ефективно застосовувати можливості

використання ефекту Джоуля-Ленца та вирішувати диференційні рівняння з використанням інтегрального перетворення Ханкеля.

Начальник навчально-наукового інституту
пожежної та техногенної безпеки,
к.т.н., доцент
полковник служби цивільного захисту

Андрій ЛИН

Завідувач кафедри
прикладної математики та механіки
д. ф-м.н., професор

Роман ТАЦІЙ

Начальник докторантури,
ад'юнктури, к.т.н.
підполковник служби цивільного захисту

Юрій КОПИСТИНСЬКИЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТЗОВ «Науково-випробувальний
центр «ЄВРОСТАНДАРТ»

Олексій Ільницький

«25»

08

2023 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
ад'юнкта Козака Ярослава Ярославовича.

Результати дисертаційних досліджень, які отримані в роботі Козака Я.Я. свідчать, що забезпечення належного функціонування автоматичних систем протипожежного захисту, зокрема датчиків первинної інформації - пожежних сповіщувачів є важливою складовою, оскільки їх робота спрямована на виявлення пожежі на її початковій стадії. Адже раннє виявлення небезпечних чинників пожежі дозволяє мінімізувати ризики для життя та здоров'я людей та зменшити можливі завдані збитки. Працездатність таких систем визначається належними технічними характеристиками пожежних сповіщувачів, які являються першою ланкою будь якої автоматичної системи протипожежного захисту а також належної її експлуатації.

Розроблений імпульсний метод визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом є актуальним і дасть можливість ефективно оцінювати адекватність роботи автоматичних систем протипожежного захисту, при проведенні вогневих випробувань ТЗОВ «Науково – випробувальним центром «Євростандарт».

Начальник науково – технічної лабораторії
ТЗОВ «Науково-випробувальний
центр «ЄВРОСТАНДАРТ»

Віктор ПИКУС

Доктор технічних наук

Олександр КОВАЛЬ

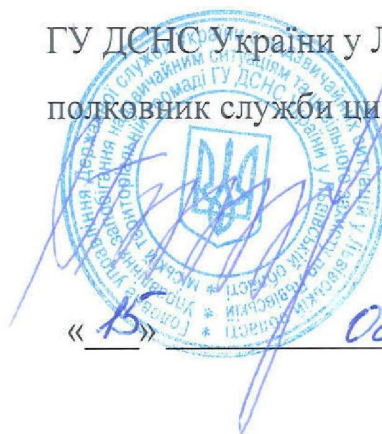
Інженер - випробувальник

Михайло КАРП'ЯК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник управління запобігання НС та ЦЗ
по Львівській міській ТГ

ГУ ДСНС України у Львівській області
полковник служби цивільного захисту



Любомир ПАСІЧНИК

« 16 » 08 2023р.

АКТ

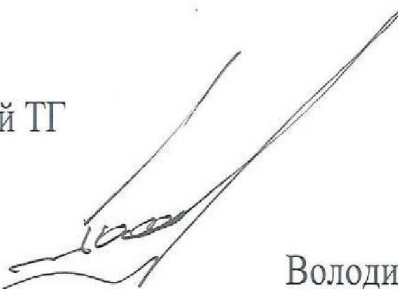
про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Козака Ярослава Ярославовича.

Комісія у складі : голови – начальника відділу запобігання НС управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ ГУ ДСНС у Львівській області полковника служби цивільного захисту Гошко В.Р. та членів : начальника відділу ЦЗ управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ ГУ ДСНС у Львівській області полковника служби цивільного захисту Вдовичина Р.Л. та заступника начальника відділу запобігання НС управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ полковника служби цивільного захисту Послідова В.Є. склали цей акт про те, що при здійсненні наглядово – профілактичної діяльності по запобіганню та попередженню виникнення пожеж на території Львівської області працівниками управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ ГУ ДСНС у Львівській області використовується методика імпульсного методу визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним

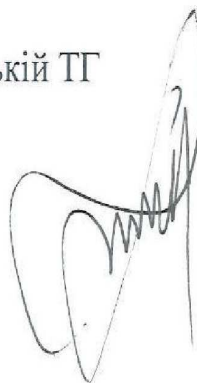
чутливим елементом яка розроблена в дисертаційному дослідженні Козака Ярослава Ярославовича.

Заступник начальника управління
запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ
начальник відділу запобігання НС
ГУ ДСНС України у Львівській області
полковник служби цивільного захисту



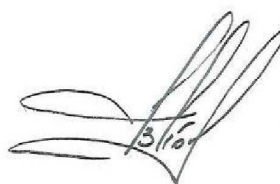
Володимир ГОШКО

Заступник начальника управління
запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ
начальник відділу ЦЗ
ГУ ДСНС України у Львівській області
полковник служби цивільного захисту



Роман ВДОВИЧИН

Заступник начальника відділу запобігання НС
управління запобігання НС та ЦЗ
по Львівській міській ТГ
ГУ ДСНС України у Львівській області
полковник служби цивільного захисту



Віталій ПОСЛЄДОВ

ДОДАТОК Б
АКТ ПРО ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТзОВ «Науково-випробувальний
центр «ЄВРОСТАНДАРТ»Олексій Ільницький
«25» _____ 2023 р.

АКТ

про виконання експериментального дослідження з визначенням часових параметрів пожежних сповісвачів із терморезистивним чутливим елементом ад'юнктом Козака Ярослава Ярославовича.

Комісія в складі: професора кафедри прикладної математики і механіки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності доктора технічних наук Васильєва О.Є., доктора технічних наук Ковалю О.М., ад'юнкта докторантури, ад'юнктури ЛДУ БЖД підполковника служби цивільного захисту Козака Я.Я., начальника науково – технічної лабораторії ТзОВ «Науково-випробувальний центр «ЄВРОСТАНДАРТ» Пикуса В.С. склали даний акт про виконання експериментального дослідження з визначенням часових параметрів пожежних сповісвачів із терморезистивним чутливим елементом.

Оскільки метою проведення експерименту є отримання залежності часу спрацювання пожежного сповісвача $\tau_{сп}$, с від відстані вертикальної осі осередку пожежі l , м, від висоти розміщення пожежного сповісвача від підлоги h , м.(рис.1). У дослідженні використано методику повно факторного експерименту типу 2^2 .

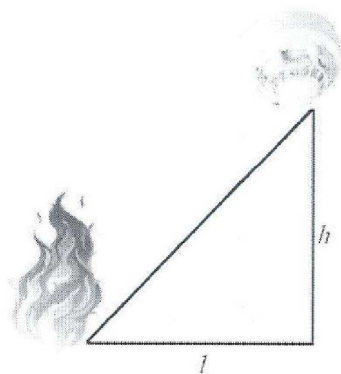


Рисунок 1. Розміщення пожежного сповісвача відносно осередку пожежі

Під час проведення експериментального дослідження використовувалось приміщення науково-випробувального центру «ЄВРОСТАНДАРТ» із встановленням вогнища згідно з методикою проведення експерименту. В якості горючого матеріалу для проведення експериментального дослідження використовувалась деревина.

Модельне вогнище типу 1А складене з допомогою дерев'яних брусків перерізом 40х40 мм та довжиною 500 мм, розташованих у вигляді решітки із 12 рядів по 6 шт. у кожному ряді (рис.2). Під дерев'яні бруски встановлювався піддон 400х600 мм, який для підпалювання деревини наповнювався бензином А-95 об'ємом 1 л.



Рисунок 2. Модельне вогнище для проведення експерименту

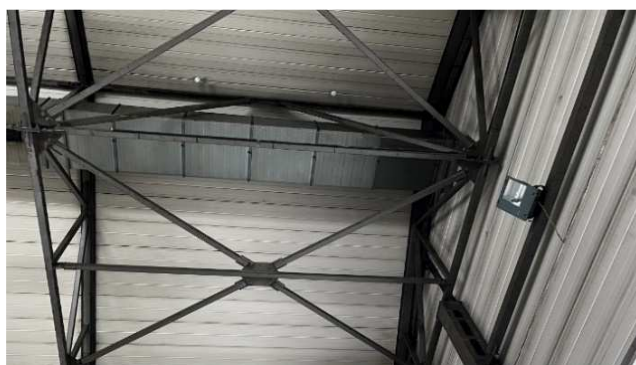
Експериментальні дослідження визначення часових параметрів пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом проводились в закритому приміщенні із температурою, яка не перевищує мінімальний поріг спрацювання сповіщувача. Під час проведення експерименту змінювалась відстань осередку пожежі від пожежного сповіщувача та висота розміщення пожежних сповіщувачів. Рівні зміни факторів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Рівні зміни факторів

Рівні факторів	$l, \text{ м}$		$h, \text{ м}$	
	$\tilde{x}_1$	$\ln \tilde{x}_1$	$\tilde{x}_2$	$\ln \tilde{x}_2$
Верхній (+)	10	2.30	8	2,08
Нульовий (0)	5,5	1.7	6	1,79
Нижній (-)	1	0	4	1,39

У приміщенні на шлейфах змонтовано по два пожежних сповіщувачі неадресного типу та по два сповіщувачі адресного типу на висоті 4 та 8 м. Відстань між сповіщувачами 7 м. Для прийняття та виведення сигналу про пожежу у приміщенні змонтовано прилади приймально-контрольні пожежні, а саме: прилад пожежної сигналізації Тірас-8П – для під'єднання сповіщувачів ТПТ-3, прилад пожежної сигналізації Омега – для під'єднання сповіщувачів СПТТА.



а)



б)

Рисунок 3. Приміщення, у якому проводяться дослід: а) розміщення пожежних сповіщувачів на висоті 4 та 8 м.; б) модельне вогнище та контрольно-вимірювальні прилади.

Результати дослідження часу спрацювання адресного пожежного сповіщувача наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Дослідження часу спрацювання адресного теплового пожежного сповіщувача

Дослід	(l) x_1		(h) x_2		Перший дослід $\tau_{сп}, c$	Другий дослід $\tau_{сп}, c$	Середнє значення $\tau_{сп. сер}, c$	L_p ($\tau_{сп. сер}$)
	Код x_1	Значення	Код x_2	Значення	Результат		Код x_1	Значення
1	-1	1	-1	4	70	71	70,5	4,26
2	+1	3,5	-1	4	274	276	275	5,62
3	-1	1	+1	8	123	122	122,5	4,80
4	+1	3,5	+1	8	418	421	419,5	6,04

Результати дослідження часу спрацювання неадресного теплового пожежного сповіщувача ТПТ-3 наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Дослідження часу спрацювання неадресного теплового пожежного сповіщувача

Дослід	(l) x_1		(h) x_2		Перший дослід $\tau_{сп, С}$	Другий дослід $\tau_{сп, С}$	Середнє значення $\tau_{сп. сер, С}$	L_n ($\tau_{сп. сер}$)
	Код x_1	Значення	Код x_2	Значення	Результат		Код x_1	Значення
1	-1	1	-1	4	72	74	73	4,29
2	+1	3,5	-1	4	276	279	277,5	5,63
3	-1	1	+1	8	121	123	122	4,80
4	+1	3,5	+1	8	417	419	418	6,04

Акт склали :

Доктор технічних наук,
професор кафедри ПМіМ ЛДУБЖД

Олена ВАСИЛЬЄВА

Доктор технічних наук



Олександр КОВАЛЬ

Ад'юнкт докторантури, ад'юнктури ЛДУ БЖД
підполковник служби цивільного захисту

Ярослав КОЗАК

Начальник науково – технічної лабораторії
ТзОВ «Науково-випробувальний
центр «ЄВРОСТАНДАРТ»

Віктор ПИКУС

ДОДАТОК В
ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПАТЕНТИ





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **151032** (13) **U**

(51) МПК (2022.01)

G08B 17/00**G08B 17/06** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2021 07721	(72) Винахідник(и):
(22) Дата подання заявки: 28.12.2021	Абрамов Юрій Олексійович (UA),
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 26.05.2022	Собина Віталій Олександрович (UA),
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 25.05.2022, Бюл.№ 21	Козак Ярослав Ярославович (UA),
	Соколов Дмитро Львович (UA),
	Демент Максим Олександрович (UA)
	(73) Володілець (володільці):
	НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
	ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ,
	вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023
	(UA)

(54) ПОЖЕЖНИЙ СПОВІЩУВАЧ**(57) Реферат:**

Пожежний сповіщувач містить терморезистивний чутливий елемент, джерело електричного струму, ключі, блок управління, обчислювач та зв'язки, що ними обумовлені. Додатково введено пристрій ділення і пристрій порівняння, вихід якого з'єднаний із входом блока управління, один вихід якого з'єднаний із другим входом пристрою порівняння, перший вхід якого з'єднаний із виходом обчислювача, вхід якого з'єднаний із виходом пристрою ділення. При цьому його перший вхід з'єднаний із виходом третього ключа, другий вхід пристрою ділення з'єднаний із виходом четвертого ключа, входи другого, третього та четвертого ключів з'єднані із виходом терморезистивного чутливого елемента, вхід якого з'єднаний із виходом першого ключа.

UA 151032 U

UA 151032 U

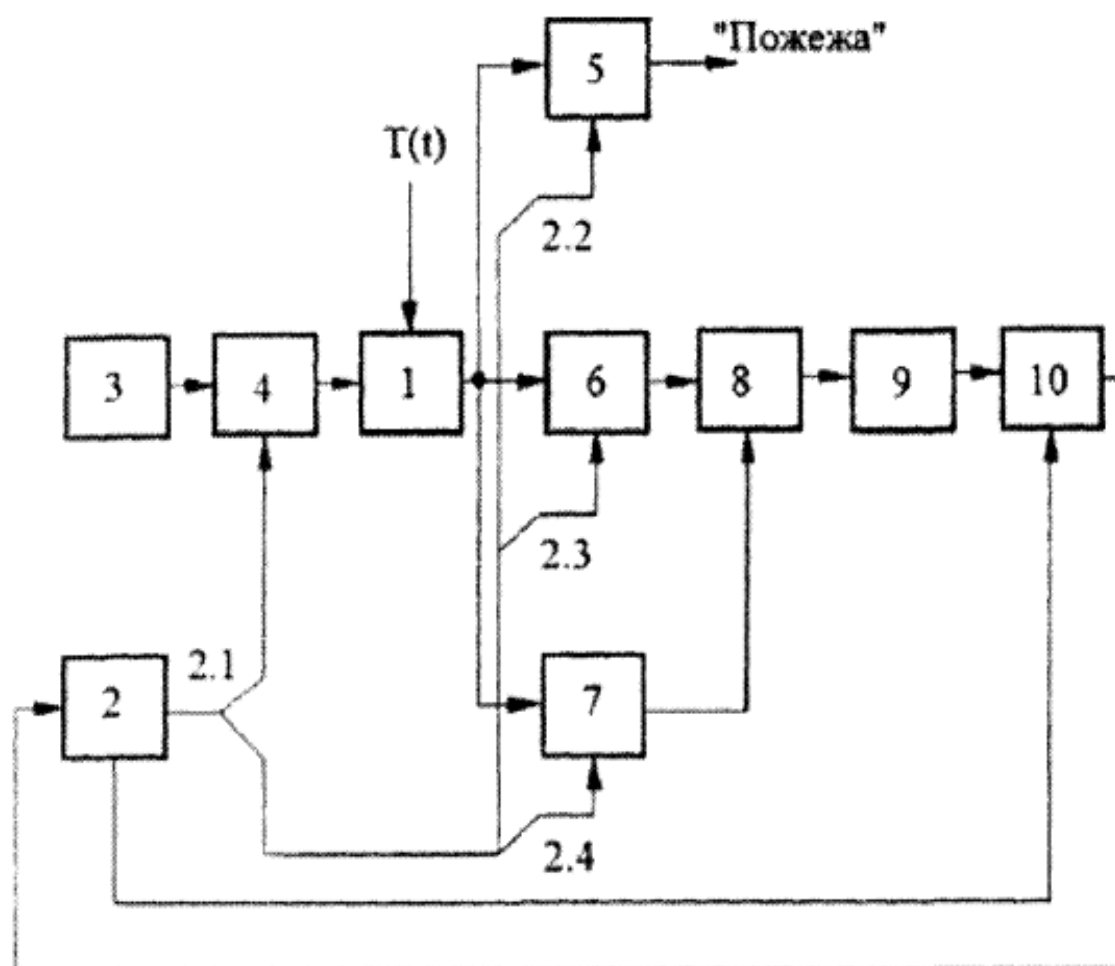


Fig.

UA 151032 U

Корисна модель належить до області пожежної автоматики і може бути використана для виявлення пожежі.

Відомий тепловий пожежний сповіщувач, що включає терморезистивні чутливі елементи, пороговий пристрій, пристрій формування інформації про пожежу та зв'язки між ними [1].

5 Недоліком такого теплового пожежного сповіщувача є те, що в ньому не здійснюється контроль параметрів, які характеризують його динамічні властивості безпосередньо на об'єкті, який охороняється, внаслідок чого можливі ситуації, при яких його технічні характеристики не будуть відповідати вимогам нормативних документів.

10 Найбільш близьким аналогом є тепловий пожежний сповіщувач, що включає терморезистивні чутливі елементи, пороговий пристрій, пристрій формування інформації про пожежу, чотири суматори, п'ять електронних ключів, пороговий пристрій, джерело електричного струму, елемент АБО, обчислювальний пристрій та пристрій управління, при цьому вихід першого терморезистивного чутливого елемента з'єднаний з першим підсумовуючим входом першого суматора, вихід якого з'єднаний із входом другого електронного ключа, перший вихід якого через перший пороговий пристрій з'єднаний із першим входом пристрою формування інформації про пожежу, другий вхід якого з'єднаний із виходом другого порогового пристрою, вхід якого з'єднаний із першим виходом третього електронного ключа, вихід якого з'єднаний із виходом другого електронного ключа, другий підсумовуючий вхід якого з'єднаний із виходом другого терморезистивного чутливого елемента, вихід джерела електричного струму з'єднаний із входом першого електронного ключа, перший вихід якого з'єднаний із другим підсумовуючим входом першого суматора, другий вихід першого електронного ключа з'єднаний із першим підсумовуючим входом другого суматора, входи управління всіх електронних ключів з'єднані із виходом пристрою управління, другі виходи другого та третього електронних ключів з'єднані відповідно із входами четвертого та п'ятого електронних ключів, перший вихід четвертого електронного ключа з'єднаний із першим підсумовуючим входом третього суматора, другий віднімаючий вхід якого з'єднаний із першим виходом п'ятого електронного ключа, другий вихід якого з'єднаний із другим підсумовуючим входом четвертого суматора, перший віднімаючий вхід якого з'єднаний із другим виходом четвертого електронного ключа, а виходи четвертого та п'ятого суматорів через елемент АБО з'єднані із входом обчислювального пристрою [2].

30 Недоліком такого пожежного сповіщувача є те, що при його роботі в режимі самоконтролю результат цієї роботи залежить від величини коефіцієнта передачі пожежного сповіщувача, а також від величини струму електричного струму, що протікає через його чутливий елемент.

В основу корисної моделі поставлена задача забезпечення незалежності результату самоконтролю пожежного сповіщувача від величини коефіцієнта його передачі та від величини електричного струму, що протікає через його чутливий елемент.

35 Поставлена задача вирішується тим, що пожежний сповіщувач містить терморезистивний чутливий елемент, джерело електричного струму, ключі, блок управління, обчислювач та зв'язки, що ними обумовлені. Додатково введено пристрій ділення і пристрій порівняння, вихід якого з'єднаний із входом блока управління, один вихід якого з'єднаний із другим входом пристрою порівняння, перший вхід якого з'єднаний із виходом обчислювача, вхід якого з'єднаний із виходом пристрою ділення. При цьому його перший вхід з'єднаний із виходом третього ключа, другий вхід пристрою ділення з'єднаний із виходом четвертого ключа, входи другого, третього та четвертого ключів з'єднані із виходом терморезистивного чутливого елемента, вхід якого з'єднаний із виходом першого ключа.

45 Суть корисної моделі пояснює креслення.

На кресленні наведена схема пожежного сповіщувача, де зображено: 1 - терморезистивний чутливий елемент; 2 - блок управління; 3 - джерело електричного струму; 4 + 7 - ключі; 8 - пристрій ділення; 9 - обчислювач; 10 - пристрій порівняння; $T(t)$ - температура навколишнього середовища; 2.1 + 2.4 - шина управління. Вихід терморезистивного чутливого елемента 1 з'єднаний із входами ключів 5 + 7. Перший вихід блока управління 2 з'єднаний через шини управління 2.1+2.4 із входами управління ключів 4+7, другий його вихід з'єднаний із другим входом пристрою порівняння 10, вихід якого з'єднаний із входом блока управління 2. Вихід джерела електричного струму 3 через ключ 4 з'єднаний із входом терморезистивного чутливого елемента 1. Вихід ключа 6 з'єднаний із першим входом пристрою ділення 8, другий вхід якого з'єднаний із виходом ключа 7. Вихід пристрою ділення 8 через обчислювач 9 з'єднаний із першим входом пристрою порівняння 10.

Пожежний сповіщувач працює наступним чином.

60 В штатному режимі роботи блок управління 2 по шині 2.2 підключає за допомогою ключа 5 вихід терморезистивного чутливого елемента 1 до шини "Пожежа". При перевищенні величини температури $T(t)$ граничного значення на цій шині з'являється відповідний сигнал.

UA 151032 U

В режимі самоконтролю блок управління 2 по шині 2.1 за допомогою ключа 4 підключає джерело електричного струму 3 до терморезистивного чутливого елемента 1, а по шині 2.2 відключає його вихід від шини « Пожежа». Через терморезистивний чутливий елемент 1 при цьому буде протікати електричний струм у вигляді імпульсу із апіорі заданими параметрами. В момент часу, який не перевищує тривалості імпульсу електричного струму, що протікає через терморезистивний чутливий елемент 1, блок управління 2 по шині 2.3 відкриває ключ 6 і на перший вхід пристрою ділення 8 поступає сигнал з виходу терморезистивного чутливого елемента 1. Після цього ключ 6 по команді від блока управління (по шині 2.3) закривається. В наступний момент часу, який також не перевищує тривалості імпульсу електричного струму, що протікає через терморезистивний чутливий елемент 1, блок управління 2 по шині 2.4 відкриває ключ 7 і на другий вхід пристрою ділення 8 поступає сигнал з виходу терморезистивного чутливого елемента 1. Після цього ключ 7 закривається, а на виході пристрою ділення 8 буде сформований сигнал, який представляє собою відношення двох сигналів на виході терморезистивного чутливого елемента 1 в два різні (апіорі задані) моменти часу. Цей сигнал використовується для визначення за допомогою обчислювача 9 величини постійної часу пожежного сповіщувача. Величина цієї постійної часу порівнюється в пристрої порівняння 10 із нормативною величиною постійної часу пожежного сповіщувача, яка поступає від блоку управління 2 по другому входу пристрою порівняння 10. Якщо ці величини співпадають, то з виходу пристрою порівняння 10 в блок управління 2 поступає сигнал, по якому пожежний сповіщувач переводиться в штатний режим роботи.

Сигнал, який поступає на вхід обчислювача 9 для визначення величини постійної часу пожежного сповіщувача, не залежить від коефіцієнта передачі пожежного сповіщувача та величини амплітуди імпульсу електричного струму, що протікає через його чутливий елемент. Це обумовлено тим, що такий сигнал формується у вигляді відношення двох вихідних сигналів терморезистивного чутливого елемента 1 в два апіорі задані моменти часу.

Таким чином, введення пристроїв ділення і порівняння та зв'язків, що ними обумовлені, забезпечують незалежність результату самоконтролю пожежного сповіщувача від величини його коефіцієнта передачі та від величини електричного струму, що протікає через його чутливий елемент.

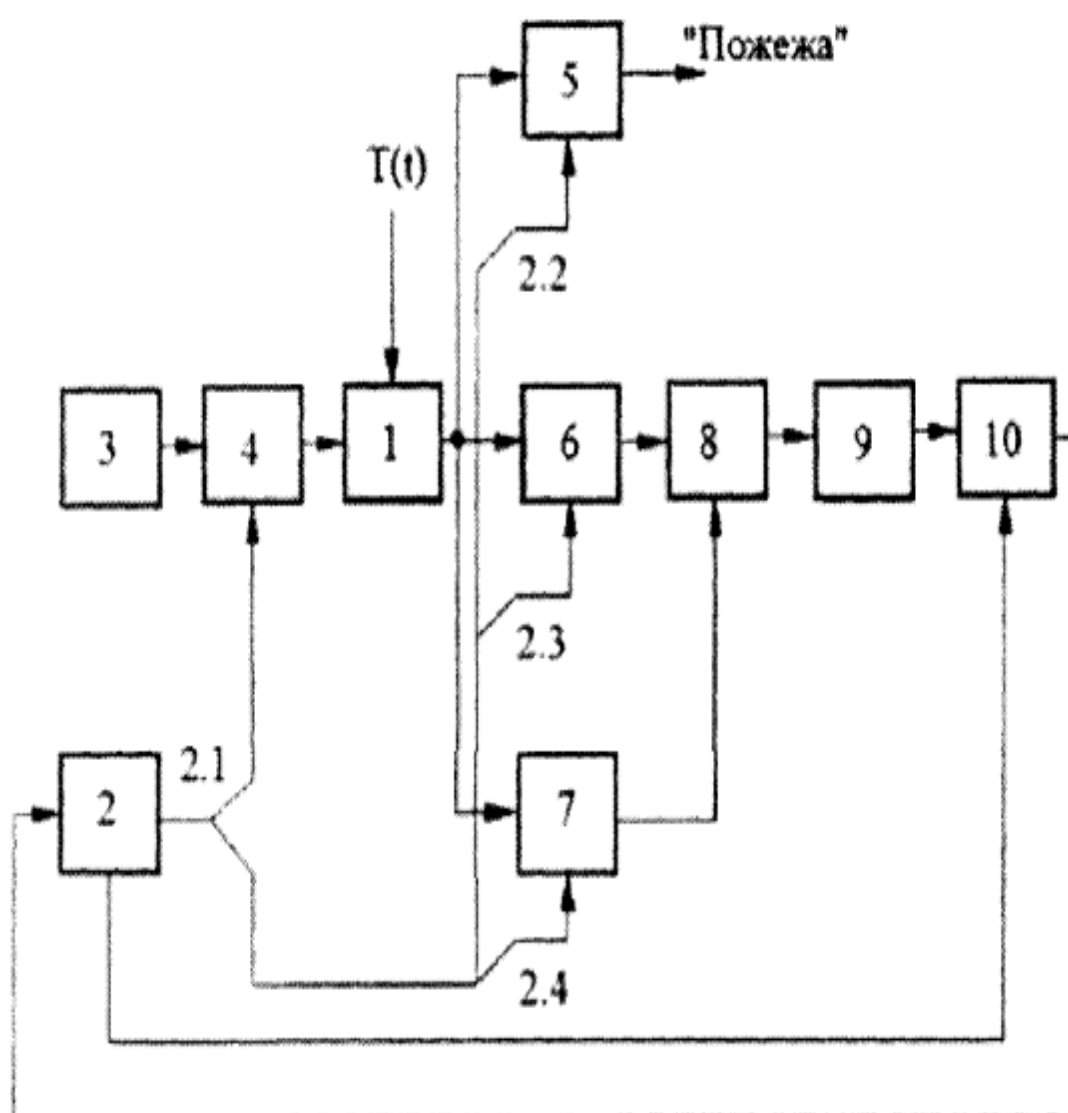
Джерела інформації:

1. Патент РФ № 2275687, МПК G08B 17/06, 2006.
2. Патент України № 110189, МПК G08B 17/06, 2015.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пожежний сповіщувач, що містить терморезистивний чутливий елемент, джерело електричного струму, ключі, блок управління, обчислювач та зв'язки, що ними обумовлені, який **відрізняється** тим, що додатково введено пристрій ділення і пристрій порівняння, вихід якого з'єднаний із входом блока управління, один вихід якого з'єднаний із другим входом пристрою порівняння, перший вхід якого з'єднаний із виходом обчислювача, вхід якого з'єднаний із виходом пристрою ділення, при цьому його перший вхід з'єднаний із виходом третього ключа, другий вхід пристрою ділення з'єднаний із виходом четвертого ключа, входи другого, третього та четвертого ключів з'єднані із виходом терморезистивного чутливого елемента, вхід якого з'єднаний із виходом першого ключа.

UA 151032 U



Фиг.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **127441** (13) **C2**
 (51) МПК (2023.01)
G08B 17/06 (2006.01)
G08B 29/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
 "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
 ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2021 03640 (22) Дата подання заявки: 24.06.2021 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 24.08.2023 (41) Публікація відомостей про заявку: 01.12.2021, Бюл.№ 48 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 23.08.2023, Бюл.№ 34	(72) Винахідник(и): Абрамов Юрій Олексійович (UA), Собина Віталій Олександрович (UA), Козак Ярослав Ярославович (UA), Ляшевська Олена Іванівна (UA), Чумак Володимир Валентинович (UA) (73) Володілець (володільці): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ, вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023 (UA) (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 115933 C2, 10.01.2018 UA 110086 C2, 10.11.2015 UA 146965 U, 31.03.2021 JP 3254565 B2, 12.02.2002 US 3999079 A, 21.12.1976 JP 2524829 B2, 14.08.1996 KR 101357869 B1, 06.02.2014
---	--

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СПРАЦЬОВУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ ІЗ ТЕРМОРЕЗИСТИВНИМ ЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ

(57) Реферат:

Винахід належить до області пожежної автоматики і може бути використано при проведенні випробувань теплових пожежних сповіщувачів, а саме до визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом. Спосіб полягає в тому, що через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача пропускають імпульс електричного струму у вигляді прямокутного трикутника із спадаючим по величині струмом, вимірюють реакцію терморезистивного чутливого елемента на теплову дію електричного струму в моменти часу, що дорівнюють половині та трьом чвертям тривалості імпульсу електричного струму, визначають відношення результатів цих вимірів, а час спрацьовування теплового пожежного сповіщувача визначають по формулі. Технічний результат: підвищення точності визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

UA 127441 C2

UA 127441 C2

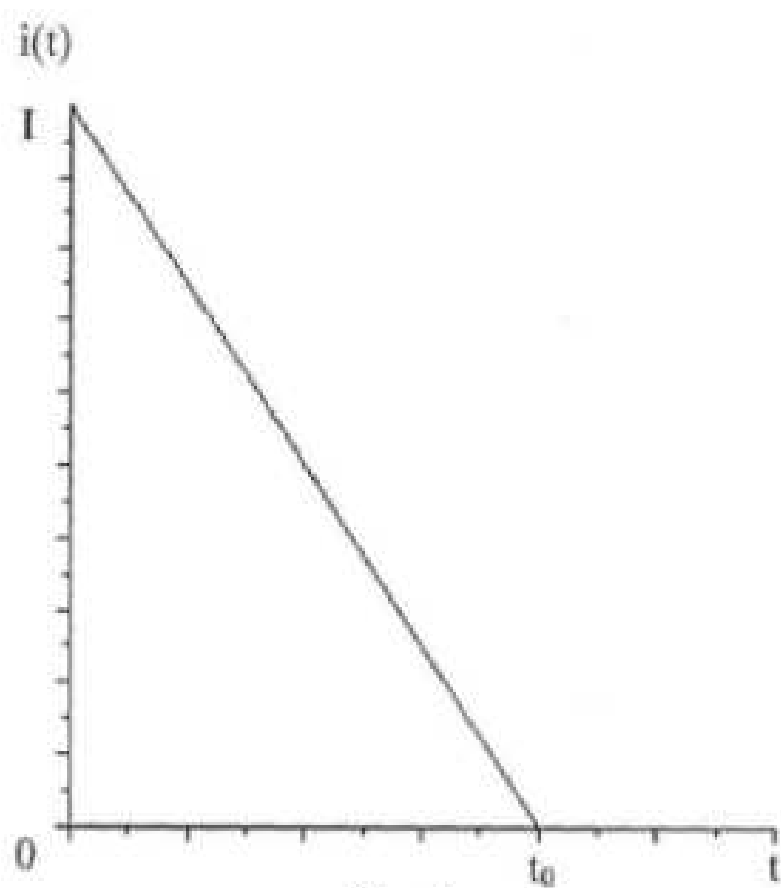


Fig. 1

UA 127441 C2

Винахід належить до області пожежної автоматики і може бути використаний при проведенні випробувань теплових пожежних сповіщувачів.

Відомий спосіб визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів, який полягає в тому, що тепловий пожежний сповіщувач розміщують в тепловій камері, формують тепловий вплив на чутливий елемент сповіщувача, температуру якого змінюють за лінійним у часі законом, і вимірюють час досягнення температури чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача фіксованого рівня [1].

Недоліком цього способу є наявність ручних операцій при його реалізації.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, який полягає в тому, що через терморезистивний чутливий елемент пропускають імпульс електричного струму у вигляді чверті косинусоїди, в моменти часу, що дорівнюють половині тривалості імпульсу електричного струму і трьом чвертям його тривалості, вимірюють реакцію терморезистивного чутливого елемента на теплову дію електричного струму, визначають відношення результату першого виміру до результату другого виміру, а час спрацьовування теплового пожежного сповіщувача визначають за формулою [2].

Недоліком такого способу є низька точність визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

В основу винаходу поставлена задача стосовно підвищення точності визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, який полягає в тому, що через терморезистивний чутливий елемент пропускають імпульс електричного струму, в моменти часу, що дорівнюють половині тривалості імпульсу електричного струму і трьом чвертям його тривалості, вимірюють реакцію терморезистивного чутливого елемента на теплову дію електричного струму і визначають відношення результату першого виміру до результату другого виміру, згідно із винаходом через терморезистивний чутливий елемент пропускають імпульс електричного струму у вигляді прямокутного трикутника із спадаючим по величині струмом, а час спрацьовування теплового сповіщувача визначають за виразом

$$t_c = (T_c - T_0)b^{-1} + t_0[8(\alpha - 1)]^{-1}[2 - \alpha + (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0.5}], \quad (1)$$

де T_c , T_0 - температура спрацьовування теплового пожежного сповіщувача і початкова температура відповідно; b швидкість зміни температури; t_0 - тривалість імпульсу електричного струму; α - відношення результату першого виміру реакції терморезистивного чутливого елемента на теплову дію електричного струму до результату другого виміру такої реакції.

На фіг. 1 наведений імпульс $i(t)$ електричного струму у вигляді прямокутного трикутника, де зображено: I - амплітуда імпульсу; t_0 - тривалість імпульсу. На фіг. 2 наведена реакція $\theta(t)$ терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію електричного струму, де зображено: t_0 - тривалість імпульсу електричного струму; θ_1 та θ_2 значення реакції терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача в моменти часу $0,5t_0$ та $0,75t_0$ відповідно. На фіг. 3 наведені залежності для похибок при визначенні часу спрацьовування теплових сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, де зображено: β - відносна похибка, що обумовлена похибкою вимірювання реакцій терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача; α - відношення результатів вимірювання реакцій терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача; 1 та 2 залежності для похибок відповідно при використанні імпульсів електричного струму у вигляді прямокутного трикутника та у вигляді чверті косинусоїди.

Спосіб визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом здійснюється наступним чином.

Через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача пропускають імпульс електричного струму у вигляді прямокутного трикутника із спадаючим по величині струмом (фіг. 1), який описується виразом:

$$i(t) = I(1 - t/t_0)[I(t) - I(t - t_0)], \quad (2)$$

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

Терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача згідно із законом Джоуля-Ленца реагує на тест-вплив, який описується виразом:

$$i^2(t) = (I/t_0)^2(t_0 - t)^2[I(t) - I(t - t_0)]. \quad (3)$$

Реакція терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію електричного струму буде мати вигляд

$$\theta(t) = 2K\tau(I/t_0)^2 \{[(0,5t_0^2 + t_0t + \tau^2) \cdot \exp(-t/\tau)] - t_0t + 0,5t^2 - \tau t\} I(t) -$$

UA 127441 C2

$$- [0,5(t-t_0)^2 - \tau(t-t_0) + \tau^2][1 - \exp(-(t-t_0)\tau^{-1})] I(t-t_0), \quad (4)$$

де K , τ - коефіцієнт передачі і постійна часу терморезистивного чутливого елемента відповідно.

На інтервалі часу, для якого

$$\frac{d\theta(t)}{dt} < 0, \quad (5)$$

із (4) випливає, що

$$\theta(t) = K\tau(t-t_0)^2 [(t-t_0)^2 - 2\tau(t-t_0) + 2\tau^2]. \quad (6)$$

В момент часу $t_1 = 0,5t_0$ (фіг. 2) вимірюють реакцію терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача, для якої має місце вираз:

$$\theta_1 = \theta(t_1) = K\tau(t_1-t_0)^2 [(t_1-t_0)^2 - 2\tau(t_1-t_0) + 2\tau^2]. \quad (7)$$

В момент часу $t_2 = 0,75t_0$ (фіг. 2) також вимірюють реакцію терморезистивного чутливого елемента, для якої буде мати місце вираз:

$$\theta_2 = \theta(t_2) = K\tau(t_2-t_0)^2 [(t_2-t_0)^2 - 2\tau(t_2-t_0) + 2\tau^2]. \quad (8)$$

Відношення першого виміру реакції терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію електричного струму до результату другого виміру згідно (7) та (8) описується наступним чином:

$$\theta_1/\theta_2 = [(t_1-t_0)^2 - 2\tau(t_1-t_0) + 2\tau^2] / [(t_2-t_0)^2 - 2\tau(t_2-t_0) + 2\tau^2] = \alpha. \quad (9)$$

Із (9) випливає алгебраїчне рівняння для визначення постійної часу τ

$$2(\alpha - 1)\tau^2 - 2[\alpha(t_2-t_0) - (t_1-t_0)]\tau + \alpha(t_2-t_0)^2 - (t_1-t_0)^2 = 0. \quad (10)$$

Коренем цього алгебраїчного рівняння є

$$\tau = [2(\alpha - 1)]^{-1} [\alpha(t_2-t_0) - (t_1-t_0) + [2\alpha[(t_1-t_0)^2 + (t_2-t_0)^2] - [\alpha(t_2-t_0) + (t_1-t_0)]^2]^{0,5}]. \quad (11)$$

що при $t_1 = 0,5t_0$ та $t_2 = 0,75t_0$ трансформується до вигляду

$$\tau = t_0[8(\alpha - 1)]^{-1} [2 - \alpha + (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5}]. \quad (12)$$

Час спрацьовування t_c теплових пожежних сповіщувачів відповідно до ДСТУ EN 54-5:2003 описується виразом:

$$t_c = (T_c - T_0)b^{-1} + \tau, \quad (13)$$

де T_c , T_0 - температура спрацьовування теплового пожежного сповіщувача і початкова температура відповідно; b - швидкість зміни температури. При об'єднанні (12) та (13) буде мати місце

$$t_c = (T_c - T_0)b^{-1} + t_0[8(\alpha - 1)]^{-1} [2 - \alpha + (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5}]. \quad (14)$$

Якщо при вимірюванні реакції терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на теплову дію електричного струму буде мати похибка Δ , то це приведе до того, що при визначенні відношення $\theta_1/\theta_2 = \alpha$ буде мати місце

$$(\theta_1 + \Delta)/(\theta_2 + \Delta) \approx \theta_1/\theta_2 (1 + \Delta/\theta_1 - \Delta/\theta_2) = \alpha(1 - \beta), \quad (15)$$

$$\text{де } \beta = \Delta(\theta_2^{-1} - \theta_1^{-1}). \quad (16)$$

Наявність похибки при визначенні величини α приводить до появи похибки при визначенні параметра τ , який є складовою часу спрацьовування t_c пожежного сповіщувача. Ця похибка визначається виразом:

$$\delta = \tau(\alpha, \beta) [\tau(\alpha)]^{-1} - 1, \quad (17)$$

де $\tau(\alpha)$ - описується виразом (12), а $\tau(\alpha, \beta)$ описується виразом (12), в якому замість параметра α використовується вираз (15).

Для способу-прототипу постійна часу терморезистивного чутливого елемента описується виразом:

$$\tau = t_0[2\pi(\alpha - 1)]^{-1} [1 - 0,7\alpha + (3,8\alpha - 0,7\alpha^2 - 3)^{0,5}]. \quad (18)$$

На фіг. 3 наведені залежності для похибок $\delta_1 = \delta_1(\alpha, \beta)$ - залежність 1, та $\delta_2 = \delta_2(\alpha, \beta)$ - залежність 2, що визначені відповідно для імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника та у вигляді чверті косинусоїди відповідно. Із цих залежностей випливає, що в першому випадку похибка менша, ніж у другому випадку в декілька разів. Зокрема, при $\beta = 2,0\%$, $\alpha = 3,0$ ця розбіжність досягає дев'яти разів.

Таким чином, пропускання через терморезистивний чутливий елемент пожежного сповіщувача імпульсу електричного струму у вигляді прямокутного трикутника із спадаючим по величині струмом забезпечує підвищення точності визначення його спрацьовування.

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ:

1. Патент України № 110590, МПК G 08 B 29/00, 2016
2. Патент України № 115933, МПК G 08 B 17/06, 2018

UA 127441 C2

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- Спосіб визначення часу спрацювання теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом, який полягає в тому, що через терморезистивний чутливий елемент пропускають імпульс електричного струму, в моменти часу, що дорівнюють половині тривалості імпульсу електричного струму і трьом чвертям його тривалості, вимірюють реакцію терморезистивного чутливого елемента на теплову дію електричного струму і визначають відношення результату першого виміру до результату другого виміру, який відрізняється тим, що через терморезистивний чутливий елемент пропускають імпульс електричного струму у вигляді прямокутного трикутника із спадаючим по величині струмом, а час спрацювання теплового сповіщувача визначають за виразом:
- $$t_c = (T_c - T_0) b^{-1} + t_0 [8(\alpha - 1)]^{-1} [2 - \alpha + (6\alpha - \alpha^2 - 4)^{0,5}],$$
- де T_c , T_0 - температура спрацювання теплового пожежного сповіщувача і початкова температура відповідно; b - швидкість зміни температури; t_0 - тривалість імпульсу електричного струму; α - відношення результату першого виміру реакції терморезистивного чутливого елемента на теплову дію електричного струму до результату другого виміру такої реакції.

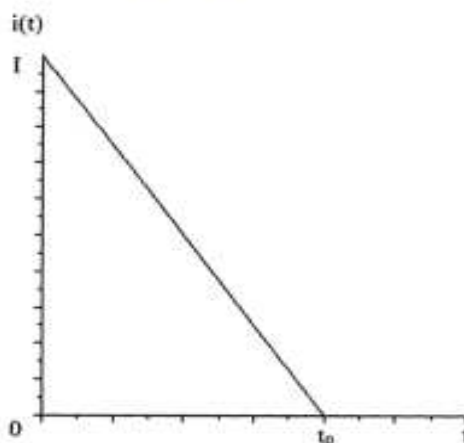


Fig. 1

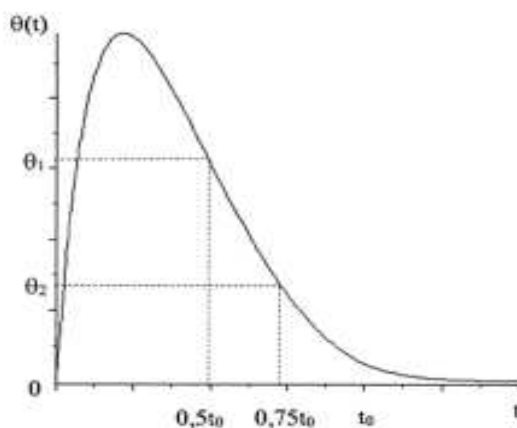


Fig. 2

UA 127441 C2

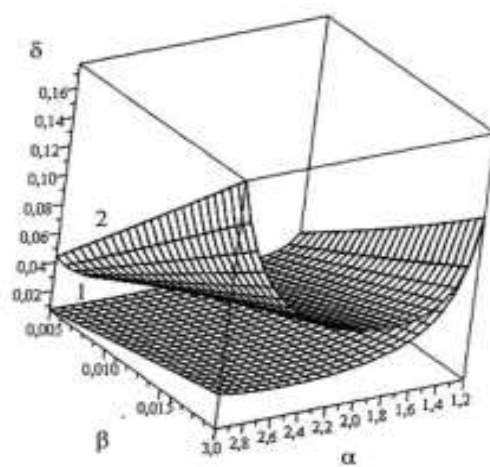


Fig. 3

ДОДАТОК Г

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Список опублікованих праць за темою дисертації :

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз :

1. Козак, Я. Я. (2021). Імпульсний метод визначення часових параметрів теплового пожежного сповіщувача. *Комунальне господарство міст, том 4, випуск 164*, 166–170.
2. Козак, Я. Я. (2021). Температурна похибка при визначенні часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом. *Комунальне господарство міст, том 6, випуск 166*, 151–155.
3. Васильєва, О. Е., & Козак, Я. Я. (2023). Аналіз методів визначення часових параметрів теплових пожежних сповіщувачів. *Комунальне господарство міст, том 1, випуск 175*, 136–144.
4. Васильєва, О. Е., Козак, Я. Я. (2023). Теплові процеси терморезистивних чутливих елементів пожежних сповіщувачів. *Український журнал будівництва та архітектури, № 1 (013)*, 22–27.
5. Васильєва, О. Е., Коваль, О. М., Козак Я. Я. (2023). Імітаційна модель процесу визначення часового параметра пожежного сповіщувача. *Пожежна безпека № 42*, 16–22.
6. Васильєва, О. Е., Коваль, О. М., Козак Я. Я. (2023). Експериментальні дослідження процесу визначення часових параметрів пожежного сповіщувача за допомогою імпульсного методу. *«Надзвичайні ситуації : попередження та ліквідація», том 7, № 1*, 7–14

Статті у наукових журналах, що входять до бази даних Scopus :

7. Kozak, Y., Abramov, Y., & Basmanov, O. (2021). Substantiating the pulse method for determining the time parameter of fire detectors with a thermoresistive sensing element. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (114)), 49–55.

Патент на корисну модель :

8. Абрамов Ю.О., Собина В.О., Козак Я.Я., Соколов Д.Л., Демент М.О. (2022) *Пожежний сповіщувач* (Патент України № 150132). Виданий Українським інститутом інтелектуальної власності.

Патент на винахід :

9. Абрамов Ю. О., Собина В. О., Козак Я. Я., Ляшевська О. І., Чумак В. В. (2023) *Спосіб визначення часу спрацювання теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом*. (Патент України № 127441). Виданий Українським інститутом інтелектуальної власності.

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації :

10. Васильєва О.Е., Козак Я.Я. (2023). Імітаційне моделювання теплових процесів у пожежних сповіщувачах із терморезистивним чутливим елементом. Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків. *Матеріали круглого столу (вебінару). Харків: Національний університет цивільного захисту України, (23 лютого 2023), 12–13.*
11. Васильєва О.Е., Коваль О.М., Козак Я.Я. (2023). Ефективні методи визначення параметрів пожежних сповіщувачів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, (20–21 квітня 2023) 239.*
12. Васильєва О.Е., Коваль О.М., Козак Я.Я. (2023). Методика визначення теплової похибки з урахуванням часового параметра пожежного сповіщувача із терморезистивним чутливим елементом. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, (27 квітня 2023), 140–142.*

Апробація результатів роботи

Основні положення роботи викладено та обговорено на наукових семінарах кафедри прикладної математики і механіки, Навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, науково – технічних радах Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також на науково – практичних конференціях різного рівня :

- матеріали круглого столу «Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, реагування та ліквідація їх наслідків» (м. Харків, 23 лютого 2023р., форма участі – публікація тез);
- матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (м. Харків , 20-21 квітня 2023 р., форма участі – публікація тез);
- XIV Міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, 27 квітня 2023р., форма участі – публікація тез).