

УДК 614.8

Я. Ю. Кальченко, PhD, викл. каф. (ORCID 0000-0002-3482-0782)

К. А. Афанасенко, к.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0003-1877-1551)

Д. В. Істратова, курсантка (ORCID 0000-0002-5229-5600)

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМУВАННЯ ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВИПРОБУВАНЬ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

Проведені експериментальні дослідження з визначення параметрів формування теплового впливу на терморезистивний чутливий елемент теплових пожежних сповіщувачів при проведенні випробувань методом, оснований на законі Джоуля-Ленца. За результатами експерименту, побудована математична модель залежності температури терморезистора від електричного струму та електричної напруги поданої на нього під час проведення випробувань. Побудовано графік залежності температури чутливого елемента від цих параметрів. Із аналізу графіку витікає, що температура чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача в більшій мірі залежить від електричної напруги поданої на нього під час проведення випробувань. Експериментально визначено час досягнення температури терморезистивного чутливого елемента температури спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів класу А1. Визначені чисельні значення параметрів формування теплового впливу на терморезистивний чутливий елемент теплового сповіщувача, при проведенні випробувань, що оснований на законі Джоуля-Ленца, що представлені у вигляді таблиць. Визначені рекомендовані значення електричної напруги та електричного струму для розігрівання терморезистивного чутливого елемента до температури 54 °С, що є мінімальною температурою спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів класу А1. Визначені граничні значення електричної напруги та електричного струму, при яких чутливий елемент сповіщувача не нагріється до мінімальної температури спрацьовування. Показано, що отримані результати досліджень, можуть лягти в основу розробки нових теплових пожежних сповіщувачів, випробування яких проводяться у автоматичному режимі та у місці його установки. Показано, що проведення випробувань теплових пожежних сповіщувачів методом, що оснований на законі Джоуля-Ленца дозволить зменшити час його проведення щонайменше у 1,83 рази.

Ключові слова: терморезистивний чутливий елемент, тепловий пожежний сповіщувач, тепловий вплив

1. Вступ

Система протипожежного захисту є невід'ємною частиною оснащення підприємства для забезпечення пожежної безпеки будь-якого об'єкта. Така система складається з комплексу технічних засобів та програмного забезпечення, що своєчасно повідомляють про первинні ознаки пожежі та дозволяють зберегти життя людей та запобігти пошкодженню та знищенню вогнем матеріальних цінностей.

Одним із елементів системи протипожежного захисту є пожежна сигналізація, що представляє собою складний апаратний комплекс і складається зі спеціалізованого обладнання та програмного забезпечення, який може в автономному режимі забезпечувати протипожежний захист об'єкта. Вона призначена для раннього виявлення вогнища загоряння на об'єкті, що охороняється, і передачі сигналу про пожежу.

Збитки від пожеж на підприємствах та у складських приміщеннях, обладнаних системами пожежної сигналізації, в шість разів менші, ніж на незахищених об'єктах, а на підприємствах торгівлі – удвічі менші. За даними фахівців Європейської корпорації «Eurotam» у країнах Європи за останні 15 років завдяки використанню пожежної сигналізації збитки від пожеж зменшилися на 63 %, а за умови використання систем автоматичного дистанційного виклику пожежних підрозділів – додатково ще на 9 %. У разі реєстрації пожежі автоматичною сигналізацією та ліквідації вогню силами персоналу до прибуття пожежних збитки від інциденту знижуються на 86 %.

Підвищити ефективність функціонування систем пожежної сигналізації можливо шляхом правильного вибору та розміщення пожежних сповіщувачів, збільшення швидкості виявлення та передачі сигналу про пожежу та удосконалення їх систем експлуатації. Таким чином, виникає необхідність у підвищенні ефективності системи експлуатації теплових пожежних сповіщувачів та, зокрема, методів їх випробувань.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Тепловий пожежний сповіщувач є одним із головних елементів системи пожежної сигналізації, а ефективність його роботи залежить від багатьох факторів. В [1] розглянуті методи визначення часу виявлення пожежі максимальними та диференціальними тепловими пожежними сповіщувачами. Показано, що ефективність виявлення пожежі багато в чому залежить від розміщення осередку пожежі та динаміки його розвитку. Визначено, що сучасні максимальні теплові пожежні сповіщувачі можуть виявляти пожежу при досягненні температури навколишнього середовища + 47 °С, а диференціальні – при збільшенні швидкості росту температури у діапазоні від 6,3 °С до 8,3 °С. В [2, 3] показано, яким чином розміщення теплових пожежних сповіщувачів впливає на ефективність виявлення пожежі. Розглянуті три способи розміщення сповіщувачів, такі як трикутник, квадрат та шестикутник. Визначено, що збільшення кількості теплових пожежних сповіщувачів не завжди приводить до збільшення ефективності виявлення пожежі, а схеми розміщення сповіщувачів, що наведені у нормативних документах EN-54-5 та NFPA 72 є оптимальними. В [4] показано, що ефективність роботи теплових пожежних сповіщувачів багато в чому визначається ефективністю їх систем експлуатації. Такі системи повинні проводити випробування сповіщувачів для визначення їх основних характеристик.

В європейському стандарті EN-54-5 та американському стандарті NFPA 72 наведені методи випробувань теплових пожежних сповіщувачів, які проводяться у тепловому каналі або тестовими осередками пожеж [5].

В [6, 7] приведені стаціонарні методи випробувань теплових пожежних сповіщувачів та визначені їх основні переваги і недоліки. Показано, що головним недоліком при проведенні випробувань теплових пожежних сповіщувачів вогневими випробуваннями є неможливість здійснення випробування у місці встановлення сповіщувача, значний час проведення випробування та те, що значення параметрів теплового впливу не нормуються і можуть варіюватися у широкому діапазоні.

В [8] приведені об'єктові методи випробувань теплових пожежних сповіщувачів. Визначено, що одним із головних недоліків при проведенні об'єктових випробувань є значний час проведення випробувань, незручність їх проведення та те, що, під час проведення випробувань перевіряється лише здатність сповіщувачів спрацьовувати при підвищенні температури навколишнього середовища, а технічні характеристики не визначаються.

Ці недоліки було усунуто у методі випробувань теплових пожежних сповіщувачів, що оснований на законі Джоуля-Ленца [9]. Метод полягає у наступному: при запуску режиму випробування теплового пожежного сповіщувача через його чутливий елемент пропускається постійний за величиною електричний струм. Згідно з законом Джоуля-Ленца, при такому впливі його температура буде зростати. В режимі, що встановився, вимірюється перевищення температури терморезистора відносно початкового значення. За формулою

$$\tau = \frac{\theta}{KI^2} \quad (1)$$

визначається постійна часу ТПС. Результат контролю технічного стану визначається з порівняння визначеної постійної часу теплового пожежного сповіщувача з нормативною. У [10] приведена структурна схема такого сповіщувача та описані його режими роботи. При цьому параметри формування теплового впливу на терморезистивний чутливий елемент при проведенні випробувань таким методом залишаються не визначеними.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є визначення параметрів формування теплового впливу при проведенні об'єктових випробувань пожежних сповіщувачів.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є експериментальне визначення значень параметрів формування теплового впливу на терморезистивний чутливий елемент теплових пожежних сповіщувачів для методу їх випробувань, що оснований на законі Джоуля-Ленца. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– побудувати математичну модель теплового впливу на терморезистивний чутливий елемент теплових пожежних сповіщувачів при проведенні їх випробувань способом, що оснований на законі Джоуля-Ленца;

– визначити значення параметрів формування теплового впливу, а саме електричної напруги та електричного струму, що проходять через терморезистивний чутливий елемент сповіщувачів, при проведенні таких випробувань.

4. Побудова математичної моделі теплового впливу на сповіщувач

Відповідно до методу планування експерименту було сплановано експеримент та проведені експериментальні випробування для визначення параметрів формування теплового впливу, а саме: електричної напруги U та сили струму I , що подається на терморезистивний чутливий елемент теплового пожежного сповіщувача.

Для таких випробувань було зібрано макет, що представляє собою терморезистор, який через мультиметри з'єднано з джерелом живлення, як показано на рис. 1 та рис. 2. В безпосередній близькості до терморезистора встановлювався тепловізор. В даному макеті був використаний терморезистор VISHAY 640-10K, який використовується у сповіщувачах типу СПТ-3Б-НЗ, що наведений на рис. 3, а у табл. 1 приведені технічні характеристики цього терморезистора.



Рис. 1. Макет для проведення випробувань визначення температури терморезистора: а) 1 – терморезистор, 2 – тепловізор, 3 – мультиметри; 4 – джерело живлення



Рис. 2. Макет для проведення випробувань визначення температури терморезистора: а) 1 – терморезистор, 2 – тепловізор, 3 – мультиметри

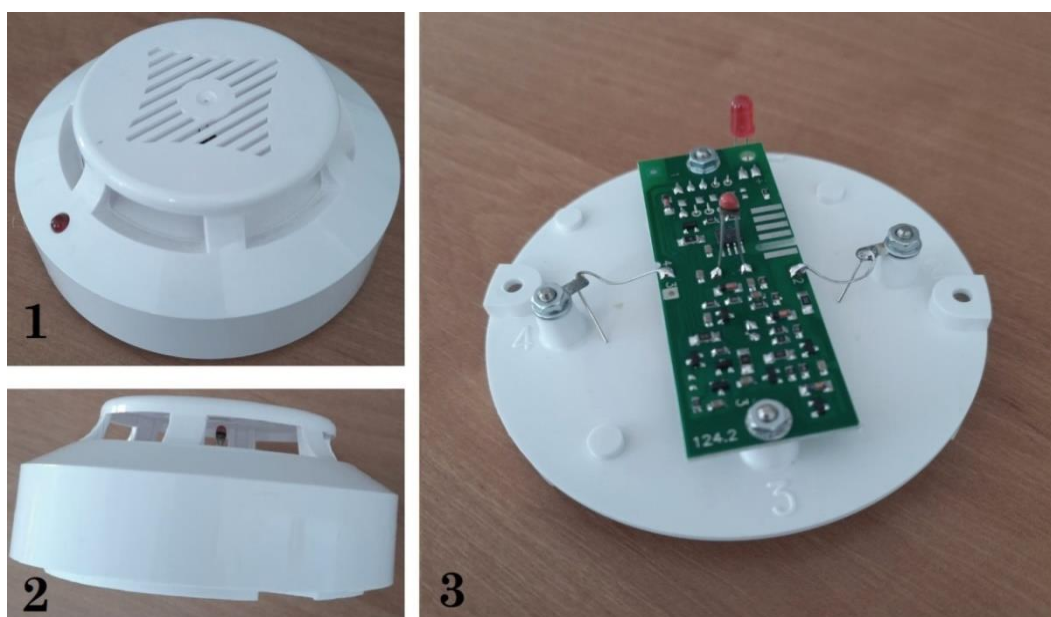


Рис. 3. Тепловий пожежний сповісвач СПТ-ЗБ-НЗ: 1 – вид зверху, 2 – вид збоку, 3 – вид сповісвача без кришки

Табл. 1. Технічні характеристики вентилятора VISHAY 640-10K

Габаритні розміри, мм	3,3x3
Значення опору при температурі 25 °С, Ом	3,3
Допустимі межі відхилення, %	± 2
Діапазон робочих температур, °С	- 40... + 125
Постійна часу, с	15
Маса, г	0,3

Вимірювання температури здійснювалось тепловізором марки SEEK Thermal Reveal Blue, технічні характеристики якого наведені у табл. 2. Терморезистор був під'єднаний до джерела живлення постійного електричного струму Б5-49. Технічні характеристики джерела живлення приведені у табл. 3.

Залежність температури терморезистора від постійного електричного струму, що протікає по ньому та поданої на нього напруги, може бути представлена у

вигляді аналітичного виразу:

$$y = f(U, I), \quad (2)$$

де U – напруга, що подається на терморезистор; I – сила струму, що подається на терморезистор.

Табл. 2. Технічні характеристики тепловізора SEEK Thermal Reveal Blue

Принцип дії	Інфрачервоний
Тип візуалізації	Графічний
Частота кадрів, Гц	9
Діапазон виміру температури, °C	-20...+350
Точність виміру температури, °C	1,0
Похибка, %	$\pm 2,0$
Час відгуку, с	1,0
Габаритні розміри, мм	130x55x30
Маса, г	110

Табл. 3. Технічні характеристики джерела живлення постійного струму Б5-49

Живлення від мережі, В	220
Вихідна напруга, В	0,1–99,0
Струм навантаження, А	0,001–0,999
Споживана потужність, Вт	400
Середній час безвідмовної роботи, год	5000
Габаритні розміри, мм	236x326x133
Маса, кг	

Цей вираз можна представити у вигляді обмеженого полінома:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j, \quad (3)$$

де $x_i, i = \overline{1, 2}$ – кодовані змінні, що зв'язані з фізичними величинами U, I наступним чином:

$$x_1 = \frac{U - U_0}{\delta U}, \quad x_2 = \frac{I - I_0}{\delta I}, \quad (4)$$

де U_0, I_0 , – значення факторів на нульовому рівні; $\delta U, \delta I$ – інтервали варіювання факторів, приведені в табл. 4.

Табл. 4. Рівні варіювання факторів

Фактори	Кодове позначення	Нульовий рівень $x_i=0$	Інтервал варіювання	Максимальний рівень $x_i=1$	Мінімальний Рівень $x_i=-1$
Електрична напруга, що подається на терморезистор, U , В	X_1	19,6	7,4	27	12,2
Електричний струм, що подається на терморезистор, I , мА	X_2	17,5	8,9	26,4	8,6

Отриманий емпіричним шляхом вираз вигляду (3) будемо вважати математичною моделлю температури терморезистора при протіканні по ньому електричного струму. Для даного експерименту модель (3) приймає вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2. \quad (5)$$

Реалізація плану експерименту наведена в табл. 5.

Табл. 5. Реалізація експерименту для визначення температури терморезистора

№	Y ₁ , °C	Y ₂ , °C	Y ₃ , °C	Y ₄ , °C	Y ₅ , °C	Y ₆ , °C	Y ₇ , °C	Y ₈ , °C	Y ₉ , °C	Y ₁₀ , °C	\bar{Y} , °C
1	67,0	67,0	67,0	66,0	65,0	66,0	66,0	67,0	66,0	66,0	66,3
2	38,0	38,0	37,0	37,0	38,0	37,0	38,0	38,0	37,0	38,0	37,6
3	18,0	18,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,2
4	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0

Розрахунок коефіцієнтів регресії було проведено відповідно до методу планування експерименту, а оцінку їх значимості за критерієм Стюдента.

Виходячи з розрахунків, залежність температури терморезистора при пропусканні через нього постійного електричного струму може бути представлена у вигляді наступного виразу:

$$y = f(x_1, x_2) = 34,52 + 17,42x_1 + 7,22x_2 + 7,12x_1x_2. \quad (6)$$

Перевірка адекватності отриманої математичної моделі здійснювалась за критерієм Фішера.

5. Визначення параметрів формування теплового впливу на тепловий пожежний сповіщувач

За моделлю (6) було побудовано графік залежності температури терморезистора від електричної напруги та сили струму поданої на нього, який представлений на рис. 4.

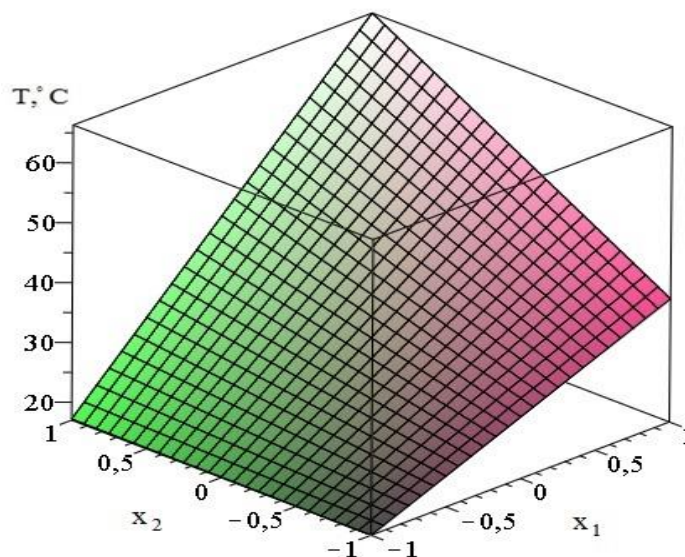


Рис. 4. Графік залежності температури терморезистора від поданої на нього електричної напруги та електричного струму

За моделлю (6) було визначено температуру терморезистивного чутливого елемента при заданій електричній напрузі та електричному струму, що пропускається через нього. Значення температури чутливого елемента сповіщувача від параметрів формування теплового впливу при проведенні випробувань методом, що оснований на законі Джоуля-Ленца представлені у табл.6.

Табл. 6. Значення параметрів формування теплового впливу при проведенні випробувань методом, що оснований на законі Джоуля-Ленца

U, В I, мА	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
15	33,3	35,4	37,5	39,5	41,6	43,7	45,8	47,9	49,9	52,1	54,1
16	34,1	36,3	38,6	40,7	42,9	45,1	47,3	49,5	51,7	53,9	56,0
17	35,0	37,3	39,6	41,9	44,2	46,5	48,8	51,1	53,4	55,7	58,0
18	35,9	38,3	40,7	43,1	45,5	47,9	50,3	52,7	55,1	57,5	59,9
19	36,7	39,2	41,8	44,3	46,8	49,3	51,8	54,3	56,9	59,4	61,9
20	37,6	40,2	42,8	45,5	48,0	50,7	53,3	55,9	58,6	61,2	63,8
21	38,4	41,2	43,9	46,6	49,4	52,1	54,8	57,6	60,3	63,0	65,7
22	39,3	42,1	45,0	47,8	50,6	53,5	56,3	59,2	62,0	64,8	67,7
23	40,1	43,1	46,0	49,0	51,9	54,9	57,8	60,8	63,7	66,7	69,6
24	41,0	44,0	47,1	50,1	52,3	56,3	59,3	62,4	65,4	68,5	71,6
25	41,9	45,0	48,2	51,3	54,5	57,7	60,8	64,0	67,2	70,3	73,5
26	42,7	46,0	49,3	52,5	55,8	59,0	62,3	65,6	68,9	72,1	75,4
27	43,6	46,9	50,3	53,7	57,1	60,5	63,8	67,2	70,6	74,0	77,4
28	44,4	47,9	51,4	54,9	58,4	61,9	65,4	68,9	72,3	75,8	79,3
29	45,3	48,8	52,5	56,1	59,7	63,3	66,9	70,5	74,0	77,6	81,2
30	46,1	49,8	53,5	57,3	60,9	64,7	68,4	72,1	75,8	79,5	83,2

Табл. 7. Рекомендовані значення параметрів формування теплового впливу при проведенні випробувань теплових пожежних сповіщувачів класу А1

U, В	I, мА
23,00	27,24
24,00	24,59
25,00	22,36
26,00	20,44
27,00	18,78
28,00	17,33
29,00	16,06
30,00	15,00

Для розігрівання терморезистора до температури 54 °С, яка є мінімальною температурою спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів класу А1, доцільно обрати значення параметрів формування теплового впливу, що представлені в табл. 7.

6. Обговорення результатів визначення параметрів формування теплового впливу

Відповідно до методу планування експерименту, сплановано експеримент та проведені експериментальні дослідження з визначення параметрів формування теплового впливу на терморезистивний чутливий елемент теплового пожежного сповіщувача для методу випробувань, що оснований на законі Джоуля-Ленца. Граничні межі та рівні варіювання електричної напруги та електричного струму, що представлені у табл. 4, обирались у відповідності з технічними характеристиками сповіщувачів типу СПТ-ЗБ-НЗ.

Аналіз (табл. 5) показав, що значення температури чутливого елемента отриманих при однакових значеннях електричної напруги та електричного струму, що пропускаються через нього, відрізнявся не більше ніж на 2 °С, а похибка при їх визначенні не перевищувала 2 %. Слід відзначити, що час за який температура чутливого елемента досягала сталого значення, дорівнював приблизно трьом постійним часу сповіщувача класу А1 і складав близько 60 секунд.

За результатами проведення експерименту побудована математична модель залежності температури терморезистивного чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача від електричної напруги та електричного струму, що пропускається через нього. За отриманою моделлю побудовано графік залежності температури чутливого елемента від даних параметрів, що представлений на рис. 4. Із аналізу графіку залежності можна стверджувати, що на обраному інтервалі варіювання факторів температура терморезистивного чутливого елемента в більшій мірі залежить від значення електричної напруги, ніж від електричного струму. Були отримані чисельні значення параметрів формування теплового впливу при проведенні випробувань методом, що оснований на законі Джоуля-Ленца, які наведені у табл.6. Із аналізу даних, що представлені у табл. 6 можна стверджувати, що подача на терморезистивний чутливий елемент теплового пожежного сповіщувача при проведенні випробувань методом, що оснований на законі Джоуля-Ленца, електричної напруги менше 22 В та електричного струму менше 15 мА, є недоцільною. В такому випадку, значення температури чутливого елемента не перевищить 54 °С, що є мінімальною температурою спрацьовування сповіщувачів класу А1.

Рекомендовані значення параметрів формування теплового впливу при проведенні випробувань теплових пожежних сповіщувачів, що представлені у табл. 7., можуть бути використані для сповіщувачів класу А1 з терморезистивним чутливим елементом типу VISHAY 640-10K.

7. Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження з визначення параметрів формування теплового впливу на терморезистивний чутливий елемент теплового пожежного сповіщувача при проведенні їх випробувань способом, що оснований на законі Джоуля-Ленца. За результатами експерименту побудовано математичну модель залежності температури терморезистора від поданої на нього електричної напруги та електричного струму та побудовано графік цієї залежності. Застосування у подальшому математичного забезпечення, що було отримано в результаті експериментальних досліджень дозволить розробляти теплові пожежні сповіщувачі, випробування яких буде відбуватися з визначенням його технічних характеристик, у автоматичному режимі та в місці установки. В результаті експерименту визначено, що час розігрівання чутливого елемента сповіщувача при проведенні випробування даним методом складає 60 секунд. З цього витікає, що проведення випробування теплових пожежних сповіщувачів методом, що оснований на законі Джоуля-Ленца, дозволить скороти час його випробування, у порівнянні з існуючими об'єктовими методами, у 1,83 рази.

2. Визначені значення параметрів формування теплового впливу, а саме: електричної напруги та електричного струму, що проходять через терморезистивний чутливий елемент сповіщувачів, при проведенні випробувань методом, що оснований на законі Джоуля-Ленца, які представлені у вигляді таблиць. Наведені рекомендовані значення параметрів формування теплового впливу при проведенні випробувань теплових пожежних сповіщувачів класу А1. Показано, що мініма-

льне значення електричної напруги, що необхідно подати на терморезистивний чутливий елемент теплового пожежного сповіщувача, для розігрівання його до температури 54 °C складає 22 В, при цьому значення електричного струму повинно бути 27,24 мА.

Література

1. Qiang L. Estimation of Fire Detection Time. *Procedia Engineering*. 2011. № 11. P. 233–241. doi:10.1016/j.proeng.2011.04.652
2. Jevtic R. Heat Detectors-Division, Positioning in Object and Simulation. *Tehnika-Elektrotehnika*. 2015. № 64. P. 303–311. doi: 10.5937/tehnika1502303J
3. Park, H.-W., Cho, J.-H., Mun, S.-Y., Park, C.-H., Hwang, C.-H., Kim, S.-C., Nam, D.-G. Measurement of the Device Properties of Fixed Temperature Heat Detectors for the Fire Modeling. *Fire Science and Engineering*. 2014. № 28 (1). P. 37–43. doi: 10.7731/kifse.2014.28.1.037
4. Abramov Yu., Kalchenko Y., Liashevskaya O. Determination of dynamic characteristics of heat fire detectors. *Eureka: Physics and Engineering*. 2019. № 3. P. 50–59. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00898
5. Jemeljanov V., Sulojeva J., Bartusauskis J. Analysis of the Inertial Parameters of Fire Detectors. *Safety of Technogenic Environment*. 2012. № 3. P. 26–32. <https://ortus.rtu.lv/science/en/publications/15340>
6. Jevtić R. Election of the fire detectors and their arrangement in object. *Bezbednost Beograd*. 2015. № 57 (1). P. 197–215. doi: 10.5937/bezbednost1501197J
7. Fan D., Ding H., Wang D., Jiang D. Field Test of Optical and Electrical Fire Detectors in Simulated Fire Scenes in a Cable Tunnel. *Photonic sensors*. 2014. Vol. 4, № 2. P. 156–161. doi: 10.1007/s13320-014-0174-3
8. Абрамов Ю. О., Кальченко Я. Ю. Теоретичні основи випробувань теплових пожежних сповіщувачів. Харків, 2020. 199 с.
9. Kalchenko Y., Abramov Yu. Identification of dynamic setting fire detectors with thermoresistive sensitive element. *Fire Safety Journal*. 2015. № 37. P. 71–74. <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11586>
10. Спосіб визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів: пат. №110086 Україна: № а 201413822; заявл. 23.12.2014; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21.

Y. Kalchenko, PhD, Lecturer of the Department

K. Afanasenko, PhD, Associate Professor, Deputy Head of the Department

D. Istratova, Cadet

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

DETERMINATION OF THERMAL IMPACT FORMATION PARAMETERS FOR TESTING FIRE DETECTORS

Experimental studies have been carried out to determine the parameters of the formation of thermal effects on the thermoresistive sensitive element of thermal fire detectors during tests using a method based on the Joule-Lenz law. According to the results of the experiment, a mathematical model of the dependence of the temperature of the thermistor on the electric current and the electric voltage applied to it during the tests. The graph of dependence of temperature of a sensitive element on these parameters is constructed. From the analysis of the graph it follows that the temperature of the sensitive element of the thermal fire detector largely depends on the electrical voltage applied to it during the tests. The time of reaching the temperature of the thermoresistive sensitive element of the temperature of operation of thermal fire detectors of class A1 has been experimentally determined. The numerical values of the parameters of the formation of thermal influence on the thermoresistive sensitive element of the thermal detector, when conducting tests based on the Joule-Lenz law, are presented in the form of tables. The recommended values of electric voltage and electric current for heating the thermoresistive

sensitive element to a temperature of 54 °C, which is the minimum operating temperature of thermal fire detectors of class A1, have been determined. Limit values of electric voltage and electric current at which the sensitive element of the detector is not heated to the minimum operating temperature are determined. It is shown that the obtained research results can form the basis for the development of new thermal fire detectors, which are tested in automatic mode and at the place of its installation. It is shown that conducting tests of thermal fire detectors by a method based on the Joule-Lenz law will reduce the time of its conduct by at least 1,83 times.

Keywords: thermoresistive sensitive element, thermal fire detector, thermal effect

References

1. Qiang, L. (2011). Estimation of Fire Detection Time. *Procedia Engineering*, 11, 233–241. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.652
2. Jevtic, R. (2015). Heat Detectors-Division, Positioning in Object and Simulation. *Tehnika-Elektrotehnika*, 64, 303–311. doi: 10.5937/tehnika1502303J
3. Park, H.-W., Cho, J.-H., Mun, S.-Y., Park, C.-H., Hwang, C.-H., Kim, S.-C., Nam, D.-G. (2014). Measurement of the Device Properties of Fixed Temperature Heat Detectors for the Fire Modeling. *Fire Science and Engineering*, 28 (1), 37–43. doi: 10.7731/kifse.2014.28.1.037
4. Abramov, Yu., Kalchenko, Y., Liashevskaya, O. (2019). Determination of dynamic characteristics of heat fire detectors. *Eureka: Physics and Engineering*. 3, 50–59. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00898
5. Jemeljanov, V., Sulojeva, J., Bartusauskis, J. (2012). Analysis of the Inertial Parameters of Fire Detectors. *Safety of Technogenic Environment*, 3, 26–32. <https://ortus.rtu.lv/science/en/publications/15340>
6. Jevtiü, R. (2015). Election of the fire detectors and their arrangement in object. *Bezbednost Beograd*, 57 (1), 197–215. doi: 10.5937/bezbednost1501197J
7. Fan, D., Ding, H., Wang, D., Jiang, D. (2014). Field Test of Optical and Electrical Fire Detectors in Simulated Fire Scenes in a Cable Tunnel. *Photonic sensors*, 2, 156–161. doi: 10.1007/s13320-014-0174-3
8. Abramov, Y. O., Kalchenko, Y. Y. (2020). Theoretical bases of tests of thermal fire detectors. *NUCDU*, 120.
9. Kalchenko, Y. Y., Abramov, Y. O. (2015). Identification of dynamic setting fire detectors with thermoresistive sensitive element. *Fire Safety Journal*, 37, 71–74. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11586>
10. Abramov, Y. O., Kalchenko, Y. Y., Sobina, V. O. (2015). Method of determining time constant of thermal fire detectors (Patent Ukraine №110086). The State Enterprise «Ukrainian Intellectual Property Institute».

Надійшла до редколегії: 18.04.2022

Прийнята до друку: 15.06.2022