

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

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМУВАННЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ОБ'ЄКТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

Отримано значення параметрів формування теплового потоку для теплових пожежних сповіщувачів, при випробуванні яких формується внутрішній тест-вплив на чутливий елемент шляхом створення теплового потоку.

Ключові слова: пожежний сповіщувач, тепловий потік, внутрішній тест-вплив.

Постановка проблеми. Одною з проблем на шляху підвищення ефективності виявлення загорянь є удосконалення системи експлуатації систем пожежної автоматики та, зокрема, удосконалення методів і засобів контролю технічних характеристик датчиків первинної інформації, до яких відносяться теплові пожежні сповіщувачі. До числа перспективних методів визначення технічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів відносяться методи об'єктових випробувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Об'єктові випробування теплових пожежних сповіщувачів переважно виконуються невеликими тепловими камерами, що створюють зовнішній тест-вплив на їх чутливий елемент. Недоліками такого способу є значний час проведення випробувань та незручність їх проведення. Дані недоліки були усунуті в [1]. У тепловий пожежний сповіщувач встановлено вентилятор та автономний електричний нагрівач. Ці додаткові елементи створюють внутрішній тест-вплив на чутливий елемент теплового пожежного сповіщувача шляхом створення теплового потоку. Математичний опис реакції чутливого елемента на такий вплив приведено в [2]. Для даного способу проведення випробувань не визначено параметри формування теплового потоку при проведенні випробувань.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є експериментальне визначення значень параметрів формування теплового потоку для теплових пожежних сповіщувачів, тест-вплив яких формується за допомогою внутрішнього джерела тепла.

Температура чутливого елемента, що може бути представлений у вигляді прямокутної пластини, циліндра або шару, теплового пожежного сповіщувача, в якому встановлені вентилятор та нагрівальний елемент, при дії на нього теплового потоку $q = const$, описується рівнянням [2]

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = a \left[\frac{\partial^2 T(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2\nu+1}{r} \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right] - m^2 [T(r,t) - T_0] \quad (1)$$

з початковими та граничними умовами

$$T(r,0) = T_0; \quad \lambda \frac{\partial T(R,t)}{\partial r} = q, \quad (2)$$

де a, λ – коефіцієнт теплопровідності і теплопровідність матеріалу чутливого елемента; T_0 – температура навколишнього середовища; R – характерний розмір чутливого елемента; ν – параметр, що характеризує форму чутливого елемента ($\nu = -0,5$ – для прямокутної пластини, $\nu = 0$ – для циліндра, $\nu = 0,5$ – для шару); m^2 – параметр, що визначається виразом

$$m^2 = \frac{2\alpha}{c\rho R}; \quad (3)$$

α – коефіцієнт теплопередачі; c, ρ – питома теплоємність та густина матеріалу чутливого елемента.

Усереднена по об'єму узагальненого чутливого елемента температура описується моделлю

$$\theta(t) = \frac{Kaq}{\lambda m^2 R} [1 - \exp(-m^2 t)] \quad (4)$$

де $K = \sqrt{\frac{2}{\pi}}$ – для прямокутної пластини; $K = 2$ – для циліндра;

$K = 3\sqrt{\frac{2}{\pi}}$ – для шара.

З урахуванням (3), а також співвідношення $a = \lambda(c\rho)^{-1}$, модель (4) приймає вигляд [2]

$$\theta(t) = \frac{0,5Kq}{\alpha} \left[1 - \exp\left(-\frac{2\alpha}{c\rho R} t\right) \right], \quad (5)$$

де параметр α визначається за допомогою критеріального рівняння [3]

$$\alpha = d_1 \lambda_0 l^{-1} Re^{d_2} Pr_1^{d_3} \left(\frac{Pr_1}{Pr_2} \right)^{0,25}. \quad (6)$$

У рівнянні (6) λ_0 – теплопровідність повітряного середовища; l – довжина чутливого елемента (для шара $l = R$); Re, Pr_1, Pr_2 – число Рейнольдса і число Прандтля при температурі повітряного потоку, що надходить до чутливого елемента, та при температурі поверхні чутливого елемента відповідно, d_i – параметри, значення яких приведені в [2].

Тобто, в [2] наведено математичний опис температури терморезистивного чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача, коли на нього створюється внутрішній тест-вплив тепловим потоком $q = const$. Виходячи з цього, доцільно отримати математичний опис формування даного теплового потоку. З цією метою необхідно визначити значення параметрів формування теплового потоку.

Відповідно до методу планування експерименту [4] сплановано експеримент та проведені експериментальні випробування, для визначення параметрів формування повітряного потоку, а саме електричної напруги, що подається на вентилятор U , та відстані до нагрівального елемента l .

Для проведення експерименту сконструйовано макет у вигляді екрана (25x25x30) мм, в який встановлено вентилятор DC BRUSHLESS FUN як показано на рис. 1. Вентилятор під'єднано до джерела живлення постійного електричного струму Б5-49. Для вимірювання швидкості повітряного потоку на виході з труби встановлено термоанемометр типу testo 410-1.

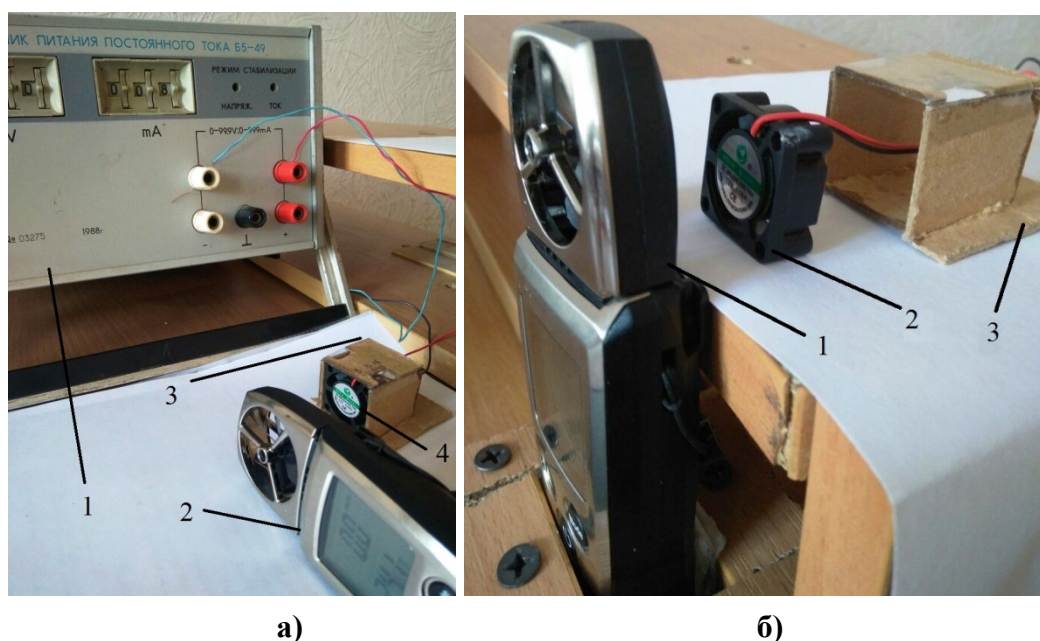


Рис. 1. Макет для проведення випробувань визначення швидкості повітряного потоку: а) 1 – термоанемометр; 2 – вентилятор; 3 – екран; б) 1 – джерело живлення Б5-49; 2 – термоанемометр; 3 – екран; 4 – вентилятор

Електрична напруга, що подається на вентилятор U , змінювалась від 11,4 В до 15,6 В, а відстань до нагрівального елемента l – від 0,6 мм до 17,4 мм. Шуканим параметром була швидкість повітряного потоку V м/с. Матриця планування експерименту приведена в табл. 1.

Табл. 1. Матриця планування експерименту для визначення швидкості повітряного потоку

№	x_1	x_2	\bar{y} , м/с
1	-1	-1	0,31
2	+1	-1	0,40
3	-1	+1	0,30
4	+1	+1	0,40
5	0	0	0,50
6	+1,4	0	0,60
7	-1,4	0	0,31
8	0	+1,4	0,40
9	0	-1,4	0,40

За результатами експерименту побудована модель швидкості повітряного потоку

$$y = f(x_1, x_2) = 0,4 + 0,075 \cdot x_1 - 0,0077 \cdot x_2 + 0,003 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,03 \cdot x_1^2 - 0,013 \cdot x_2^2, \quad (7)$$

де x_1, x_2 – кодовані змінні напруги, що подається на вентилятор, і відстані до нагрівального елемента відповідно. Для даної моделі був побудований графік залежності, що представлений на рис. 2.

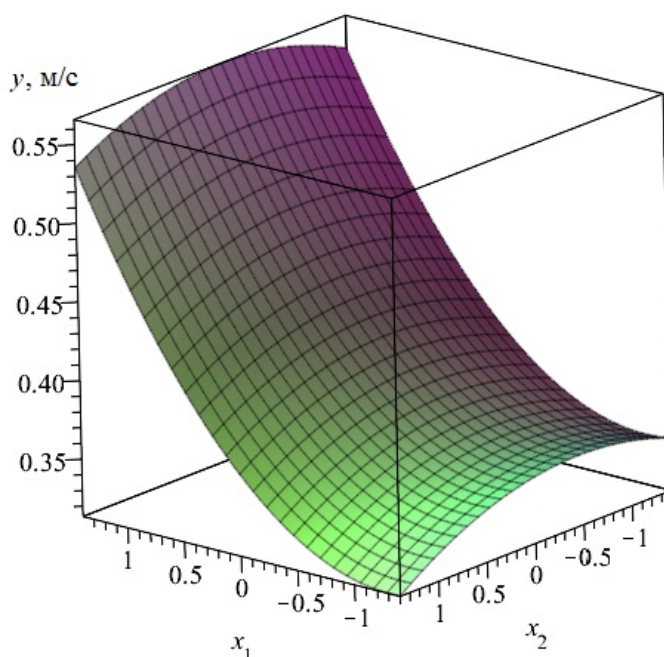


Рис. 2. Графік залежності швидкості повітряного потоку від поданої на вентилятор електричної напруги та відстані до нагрівального елемента

Для моделі (7) вирішена задача параметричної оптимізації з використанням метода Філіпса. В результаті вирішення даної задачі знайдені значення змінних, при яких вентилятор створює повітряний потік з максимальною швидкістю:

$$x_1 = 1,4; \quad x_2 = 0.$$

У даній точці кодований параметр x_1 відповідає поданій на вентилятор напрузі 15,6 В, а кодований параметр x_2 відповідає відстані до нагрівального елемента 9 мм.

Виходячи з отриманих даних, відповідно до методу планування експерименту [4] сплановано експеримент та проведені експериментальні випробування, для визначення параметрів формування теплового потоку, а саме температури, що створюється нагрівальним елементом при подачі на нього різної за величиною електричної напруги U , та відстані від нагрівального елемента l .

Для проведення експерименту сконструйовано макет у вигляді екрана (25x25x65) мм, в якому встановлено вентилятор DC BRUSHLESS FUN та нагрівальний елемент, що виконано з ніхромової проволочки довжиною 293 мм та діаметром 0,3 мм закріпленої на текстолітові пластини (30x10x2) мм як показано на рис. 3.

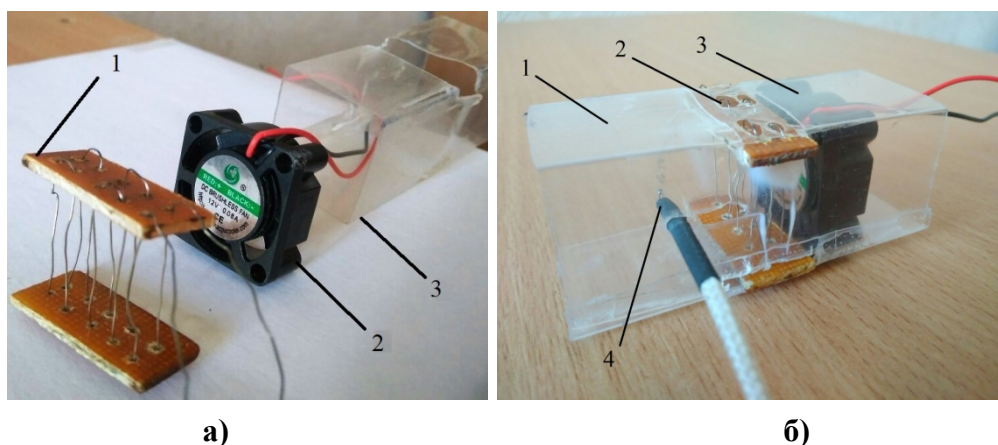


Рис. 3. Макет для проведення випробувань визначення температури, що створюється нагрівальним елементом: а) 1 – нагрівальний елемент; 2 – вентилятор; 3 – екран; б) загальний вид макету: 1- екран; 2 – нагрівальний елемент; 3 – вентилятор; 4 – термопара

Нагрівальний елемент було підключено до джерела живлення постійного електричного струму Б5-49. Вентилятор було встановлено на відстані 9 мм від нагрівального елемента та підключено до блоку живлення БП-4822-2. В якості вимірюваних приладів для визначення електричної напруги та сили струму, що подається на нагрівальний елемент, використовувались вольтметр та амперметр. Для вимірювання температури було використано мультиметр з термопарою.

Випробування проводились при сталій швидкості повітряного потоку $V = 0,4$ м/с. Електрична напруга, що подається на нагрівальний елемент U , змінювалась від 8,2 В до 27,8 В, а відстань до нагрівального елемента l – від 3,4 мм до 14,6 мм. Шуканим параметром була температура, створена нагрівальним елементом на заданій відстані. Матриця

планування експерименту приведена в табл. 2, де x_1 та x_2 кодовані параметри електричної напруги, що подається на нагрівальний елемент U , та відстані l відповідно, y_i - значення температури при i -тому паралельному випробуванні, \bar{y} - середнє значення паралельних випробувань.

Табл. 2. Матриця планування експерименту для визначення температури

№	x_1	x_2	$y_1, ^\circ\text{C}$	$y_2, ^\circ\text{C}$	$y_3, ^\circ\text{C}$	$y_4, ^\circ\text{C}$	$y_5, ^\circ\text{C}$	$\bar{y}, ^\circ\text{C}$
1	-1	-1	42	39	43	43	45	42,4
2	+1	-1	55	56	58	56	59	56,8
3	-1	+1	40	37	41	40	39	39,4
4	+1	+1	43	44	43	41	44	43,0

За результатами експерименту побудована математична модель

$$y = f(x_1, x_2) = 45,41 + 4,49 \cdot x_1 - 4,21x_2, \quad (2)$$

де x_1 та x_2 кодовані параметри електричної напруги, що подається на нагрівальний елемент U , та відстані l відповідно. Для даної моделі побудовано графік залежності, що представлений на рис. 4.

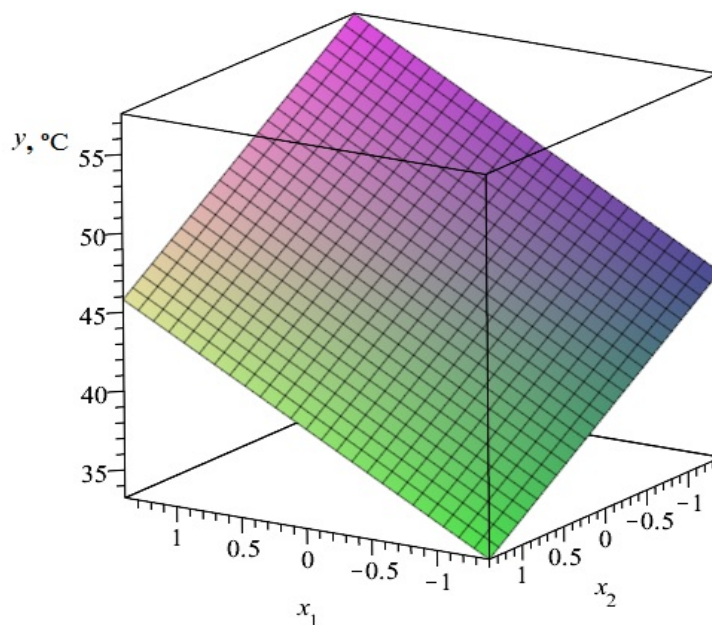


Рис. 4. Графік залежності температури від поданої на нагрівальний елемент напруги та відстані

За моделлю (2) можливо визначити температуру теплового потоку, що надходить на чутливий елемент при заданій електричній напрузі та відстані до нагрівального елемента. Для створення теплового потоку з температурою $54 ^\circ\text{C}$, яка є мінімальною температурою спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів класу А1 [5], значення змінних повинні бути

$$x_1 = 0,98; \quad x_2 = -1.$$

У даній точці кодований параметр x_1 відповідає поданій на нагрівальний елемент електричній напрузі 24,4 В, а кодований параметр x_2 відповідає відстані до чутливого елемента 5 мм.

Висновки. Побудовано математичні моделі формування повітряного потоку та температури теплового потоку для теплових пожежних сповіщувачів, тест-вплив яких формується за допомогою внутрішнього джерела тепла. Для таких сповіщувачів визначені значення параметрів, формування теплового потоку, а саме електричної напруги, що подається на вентилятор, та електричної напруги, що подається на нагрівальний елемент, відстані від нагрівального елемента до вентилятора та чутливого елемента та температури, що створюється нагрівальним елементом на заданій відстані.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. 110189 Україна, МПК G08B17. Тепловий пожежний сповіщувач / Абрамов Ю.А., Кальченко Я.Ю., Собина В.О., власник НУЦЗУ – № А201505720; заявл. 10.06.15, опубл. 25.11.15.
2. Абрамов Ю.А. Математическое обеспечение тестирования тепловых пожарных извещателей [Электронный ресурс] / Ю.А. Абрамов, Я.Ю. Кальченко // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2016. – Вип. 40. – С. 5-11. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol40/abramov.pdf>.
3. Рябова І.Б. Термодинаміка і теплопередача у пожежній справі [Электронный ресурс] / І.Б. Рябова, І.В. Сайчук, А.Я. Шаршанов. – Харків: АПБУ, 2002. – 332 с. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/ukr/departments/chairs/pg/reference>.
4. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер. – М: Металлургия, 1969. – 159 с.
5. Системи пожежної сигналізації. Частина 5. Сповіщувачі пожежні теплові точкові. (EN 54-5: 2000, IDT): ДСТУ EN 54-5:2003 (чинний від 2003-16-12). – К: Держспоживстандарт України, 2004. – 162 с.

Отримано редколегією 05.03.2017

Ю.А. Абрамов, Я.Ю. Кальченко

Определение параметров формирования теплового потока при проведении объектовых испытаний тепловых пожарных извещателей

Получены значения параметров формирования теплового потока для тепловых пожарных извещателей, при испытании которых формируется внутреннее тест-воздействие на чувствительный элемент путем создания теплового потока.

Ключевые слова: пожарный извещатель, тепловой поток, внутренне тест-воздействие.

Y. Abramov, Y. Kalchenko

Determination parameters of heat flux formation for object testing of heat detectors

The values of parameters heat flux formation for object testing of heat detectors with internal test-exposure have been defined.

Keywords: fire detector, heat flow, internal test-exposure.