

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

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

Отримано межі для параметрів при визначенні динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів в частотній області.

Ключові слова: тепловий пожежний сповіщувач, динамічні характеристики, похибка.

Постановка проблеми. Ефективність виявлення загорянь на ранній стадії багато в чому визначається експлуатаційними властивостями систем пожежної сигналізації. Проблемою є підвищення ефективності роботи системи експлуатації теплових пожежних сповіщувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із елементів системи експлуатації є контроль працездатності теплових пожежних сповіщувачів, під час якого визначаються їх динамічні характеристики. Способи визначення динамічних характеристик поділяються на аналітичні та експериментальні. До аналітичних способів відносяться способи, що приведені у [1]. Експериментальні способи визначення динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів приведені у [2-4]. У [5, 6] приведені способи визначення динамічних характеристик у частотній області, однак при цьому не в повній мірі вирішені задачі по ідентифікації параметрів при визначенні частотних характеристик.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є визначення меж параметрів при визначенні амплітудно-частотних та фазово-частотних характеристик теплових пожежних сповіщувачів.

Для вирішення даної задачі розглянемо два випадки при яких на основі даних про величину перехідної характеристики, отриманої експериментальним шляхом, визначаються амплітудно-частотні та фазово-частотні характеристики теплового пожежного сповіщувача. В першому випадку розглянемо спосіб, приведений в [5], в якому температуру тест-впливу на сповіщувач змінюють стрибкоподібно. Межі для параметрів при визначенні динамічних характеристик теплового пожежного сповіщувача визначимо за умови, що температуру середовища, в якому знаходиться тепловий пожежний сповіщувач, стрибкоподібно змінюють у часі від величини T_0 до величини T_1 . Температура чутливого елемента при такому впливі буде змінюватись на величину $\theta(t)$ відносно початкової величини $\theta_0 = T_0$, як показано на рис. 1.

В кожний із моментів часу, що відстають один від одного на однакову величину Δt , виміряється зростання температури чутливого елемента відносно попереднього моменту часу. Величина Δt визначається за

теоремою Котельнікова

$$\Delta t = 0,5f_m^{-1}, \quad (1)$$

де f_m – максимальна частота спектральної характеристики функції $\theta(t)$, що дає змогу одержати повну інформацію стосовно зміни температури $\theta(t)$ при тепловому впливі на чутливий елемент пожежного сповіщувача.

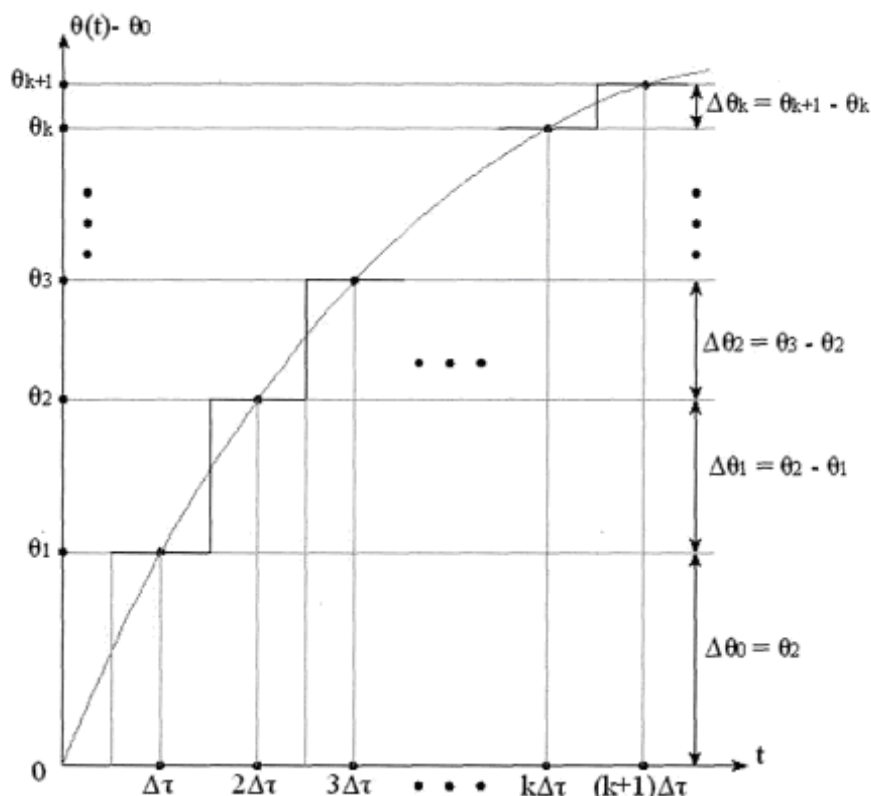


Рис. 1. Залежність температури чутливого елемента від часу при стрибкоподібній зміні температури зовнішнього середовища

Наявність масиву даних $\Delta\theta_0, \Delta\theta_1, \dots, \Delta\theta_k, \Delta\theta_{k+1}, \Delta\theta_n$ дозволяє записати вираз для функції $\Delta\theta(t) = \theta(t) - \theta_0$ наступним чином

$$\Delta\theta(t) = \sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot 1(t + (k + 0,5)\Delta t), \quad (2)$$

де $1(\cdot)$ – функція Хевісайда.

Застосувавши до (2) інтегральне перетворення Лапласа, отримаємо

$$\Delta\theta(p) = \int_0^{\infty} \Delta\theta(t) \exp(-pt) dt = p^{-1} \sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \exp[-p(k + 0,5)\Delta t], \quad (3)$$

де p – комплексне число.

Згідно із визначенням передаточної функції, має місце

$$W(p) = \frac{\Delta\theta(p)}{\Delta T(p)}, \quad (4)$$

де $\Delta T(p)$ – зображення по Лапласу від функції, яка описує тепловий вплив на чутливий елемент пожежного сповіщувача, що описується рівнянням

$$\Delta T(p) = (T_1 - T_0)p^{-1}. \quad (5)$$

З урахуванням (3) та (5) вираз для передаточної функції можна записати як

$$W(p) = (T_1 - T_0)^{-1} \sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \exp[-p(k + 0,5)\Delta t] \quad (6)$$

Виходячи з (6), амплітудно-фазова частотна характеристика теплового пожежного сповіщувача буде описуватись виразом

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= W(p)|_{p=j\omega} = (T_1 - T_0)^{-1} \sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \exp[-j\omega(k + 0,5)\Delta t] = \\ &= (T_1 - T_0)^{-1} \sum_{k=0}^n \Delta\theta_k [\cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] - j\sin[\omega(k + 0,5)\Delta t]], \end{aligned} \quad (7)$$

де j – уявна одиниця; ω – кругова частота.

Внаслідок того, що амплітудно-частотна характеристика $A(\omega)$ та фазово-частотна характеристика $\varphi(\omega)$ теплового сповіщувача пов'язані із амплітудно-фазовою частотною характеристикою $W(j\omega)$ наступним чином

$$\begin{aligned} A(\omega) &= \text{mod } W(j\omega); \\ \varphi(\omega) &= \text{arg } W(j\omega), \end{aligned} \quad (8)$$

то можна записати вирази для їх визначення

$$A(\omega) = (T_1 - T_0)^{-1} \left[\left(\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right)^2 + \right. \quad (9)$$

$$\left. + \left(\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right)^2 \right]^{0,5};$$

$$\varphi(\omega) = -\text{arctg} \frac{\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t]}{\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t]}. \quad (10)$$

Для оцінки похибки при визначенні динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів було розглянуто три сповіщувачі, постійна часу яких $\tau = (5; 10; 20)$ с. Температура середовища θ , в якому вони знаходились, стрибкоподібно змінювалась з 25°C до 54°C .

За формулами (9) та (10) були визначені амплітудно-частотні та фазово-частотні характеристики сповіщувачів при інтервалах дискретності $\Delta t = (0,15; 1; 2)$ с. Графіки амплітудно-частотних та фазово-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу $\tau = 20$ с для різних інтервалів дискретності представлені відповідно на рис. 2 та рис. 3.

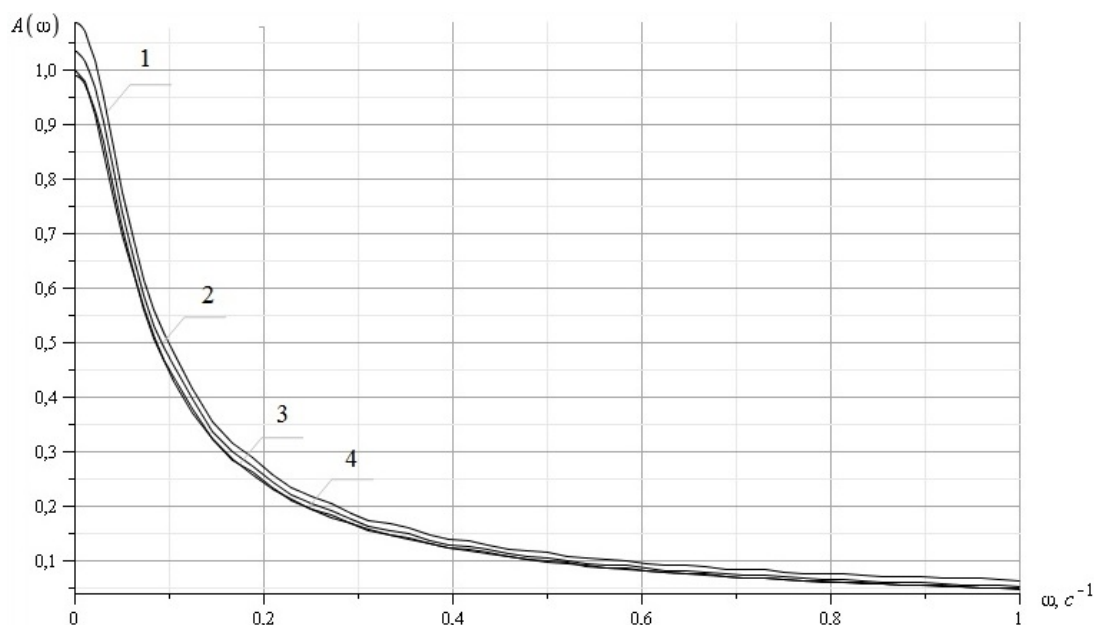


Рис. 2. Графіки амплітудно-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу 20 с при різних інтервалах дискретності Δt : 1 – $\Delta t = 2$ с; 2 – $\Delta t = 1$ с; 3 – $\Delta t = 0,15$ с; 4 – зразкова амплітудно-частотна характеристика для $\tau = 20$ с

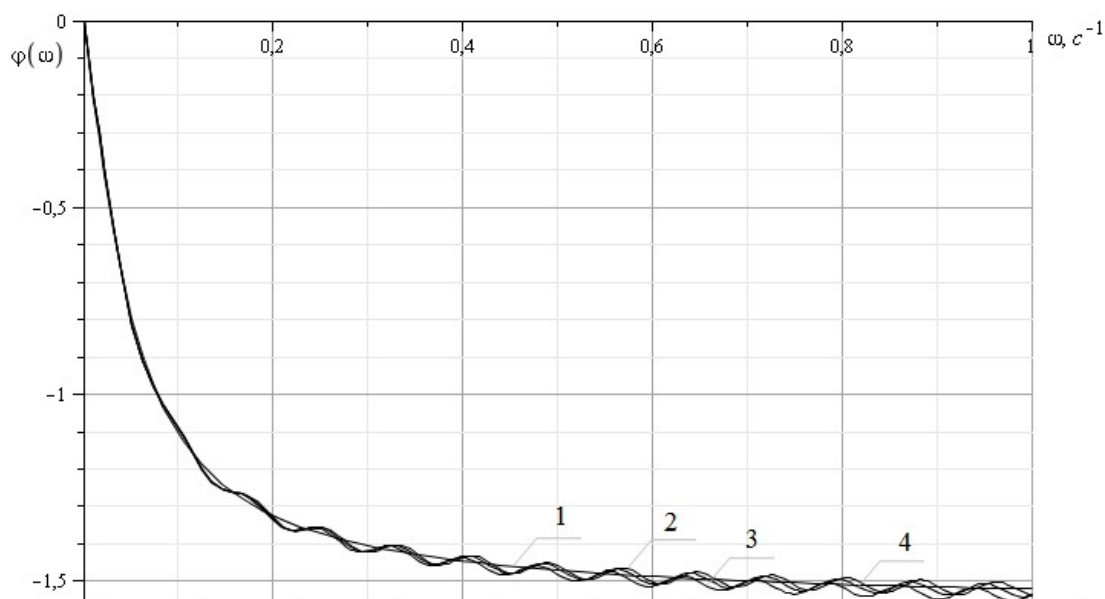


Рис. 3. Графіки фазово-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу 20 с при різних інтервалах дискретності Δt : 1 – зразкова фазово-частотна характеристика для $\tau = 5$ с; 2 – $\Delta t = 2$ с; 3 – $\Delta t = 1$ с; 4 – $\Delta t = 0,15$ с

Ці частотні характеристики порівнювались із зразковими частотними характеристиками $A_0(\omega)$ та $\varphi_0(\omega)$, вирази для яких мають вигляд

$$A_0(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}}; \quad (11)$$

$$\varphi_0(\omega) = -\arctg \omega \tau. \quad (12)$$

На основі отриманих результатів було розраховано похибку при визначенні динамічних характеристик у частотній області. Залежності похибки при визначенні амплітудно-частотних характеристик та фазово-частотних характеристик від величини постійної часу сповіщувача та інтервалу дискретності представлені відповідно на рис. 4 та рис. 5.

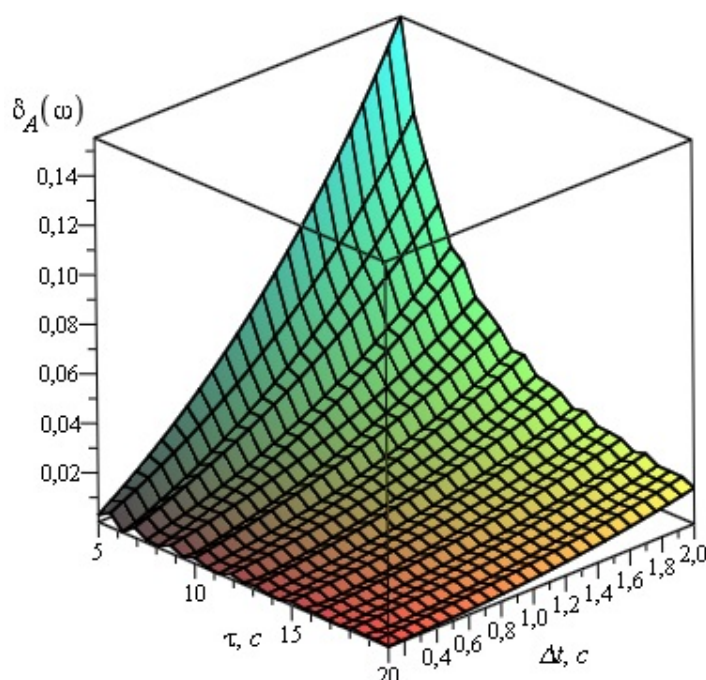


Рис. 4. Залежність похибки визначення амплітудно-частотних характеристик сповіщувача від його постійної часу та інтервалу виміру температури

Враховуючи те, що допустиме значення похибки не повинні перевищувати 5% [7], визначимо межі параметрів при визначенні амплітудно-фазових характеристик теплових пожежних сповіщувачів. Максимальна похибка при визначенні амплітудно-частотних характеристик теплових пожежних сповіщувачів при інтервалі дискретності $\Delta t = 2$ с для сповіщувачів з постійною часу $\tau = (10; 20)$ с відповідно буде складати 4,6% та 1,6%. Так як похибка не перевищує 5%, то для сповіщувачів постійною часу $\tau = (10; 20)$ с для зменшення числа обчислень доцільним буде обрати інтервал дискретності $\Delta t = 2$ с. Для сповіщувача з постійною часу $\tau = 5$ с інтервал дискретності повинен бути $\Delta t \leq 0,9$ с.

Максимальна похибка при визначенні фазово-частотних характеристик теплових пожежних сповіщувачів при інтервалі дискретності $\Delta t = 2$ с для сповіщувачів з постійною часу $\tau = (5; 10; 20)$ с відповідно буде складати 5,2%, 3,3% та 1,2%, тому для сповіщувачів з постійною часу

$\tau=(10; 20)$ с доцільним буде обрати інтервал дискретності $\Delta t = 2$ с, а для сповіщувача з постійною часу $\tau = 5$ с – $\Delta t = 1,97$ с.

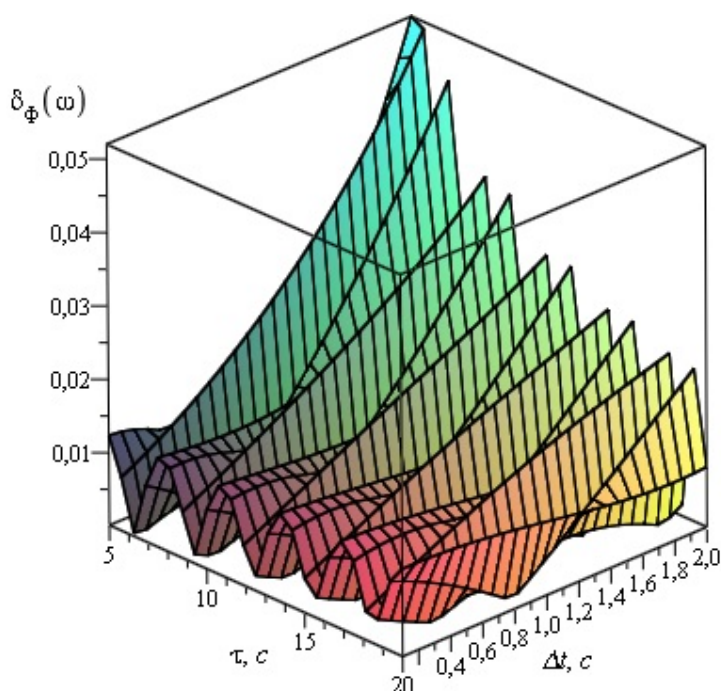


Рис. 5. Залежність похибки визначення фазово-частотних характеристик сповіщувача від його постійної часу та інтервалу виміру температури

В другому випадку розглянемо спосіб визначення динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів, в якому ураховуються інерційні властивості приладу, що формує тест вплив [6]. Для такого випадку тепловий вплив буде описуватися не виразом (5), а виразом

$$\Delta T(p) = (T_1 - T_0) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right) \right], \quad (11)$$

де τ_0 – постійна часу приладу, що формує тест-вплив на чутливий елемент теплового пожежного сповіщувача.

Тоді для $\Delta T(p)$ згідно з (11) можна записати

$$\Delta T(p) = (T_1 - T_0) [p(\tau_0 p + 1)]^{-1}. \quad (12)$$

Об'єднання (3), (4) та (12) трансформує вираз (4) наступним чином

$$\begin{aligned} W(p) \Big|_{p=j\omega} = W(j\omega) &= (T_1 - T_0)^{-1} (1 + j\omega\tau_0) \sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \times \\ &\times \exp[-j\omega(k + 0,5)\Delta t] = (T_1 - T_0)^{-1} (1 + j\omega\tau_0) \times \\ &\times \sum_{k=0}^n \Delta\theta_k [\cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] - j \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t]]. \end{aligned} \quad (13)$$

Постійна часу приладу τ_0 , що створює тепловий вплив на чутливий елемент теплового пожежного сповіщувача, визначається з виразу

$$\tau_0 = t_{\text{ст}} m^{-1}, \quad (14)$$

де m – число, причому $m \geq 4,0$. Якщо $m \geq 4,0$, то величина методичної похибки при визначенні параметра не перевищує 2%.

Виходячи з (8), (13) та (14), динамічні характеристики теплового пожежного сповіщувача описуються виразами

$$A(\omega) = (T_1 - T_0)^{-1} \left[1 + (\omega t_{\text{ст}} m^{-1})^2 \right]^{0,5} \left[\left(\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right)^2 + \left(\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right)^2 \right]^{0,5}; \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \varphi(\omega) &= \arctg(\omega t_{\text{ст}} m^{-1}) - \arctg \left[\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right] \times \\ &\times \left[\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right]^{-1} = \\ &= -\arctg \left[\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k [m \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t]] - \right. \\ &\left. - \omega t_{\text{ст}} \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right] \cdot \left[\sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot [m \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t]] + \right. \\ &\left. + \omega t_{\text{ст}} \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right]^{-1} \end{aligned} \quad (16)$$

За формулами (15) та (16) були визначені амплітудно-частотні та фазово-частотні характеристики сповіщувачів, постійна часу яких $\tau \in [5; 10; 20]$ с при інтервалах дискретності $\Delta t = (0,15; 1; 2;)$ с. Графіки амплітудно-частотних та фазово-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу $\tau = 20$ с для інтервалу дискретності $\Delta t = 2$ с при різних постійних часу приладу τ_0 , що формує тест-вплив, представлені відповідно на рис. 6 та рис. 7.

На основі отриманих результатів було розраховано похибку при визначенні динамічних характеристик сповіщувача у частотній області з урахуванням інерційних властивостей пристрою, що створює тепловий вплив. Залежність похибки при визначенні амплітудно-частотних характеристик від інтервалу дискретності Δt та постійної часу приладу τ_0 , що формує тепловий вплив представлена на рис. 8.

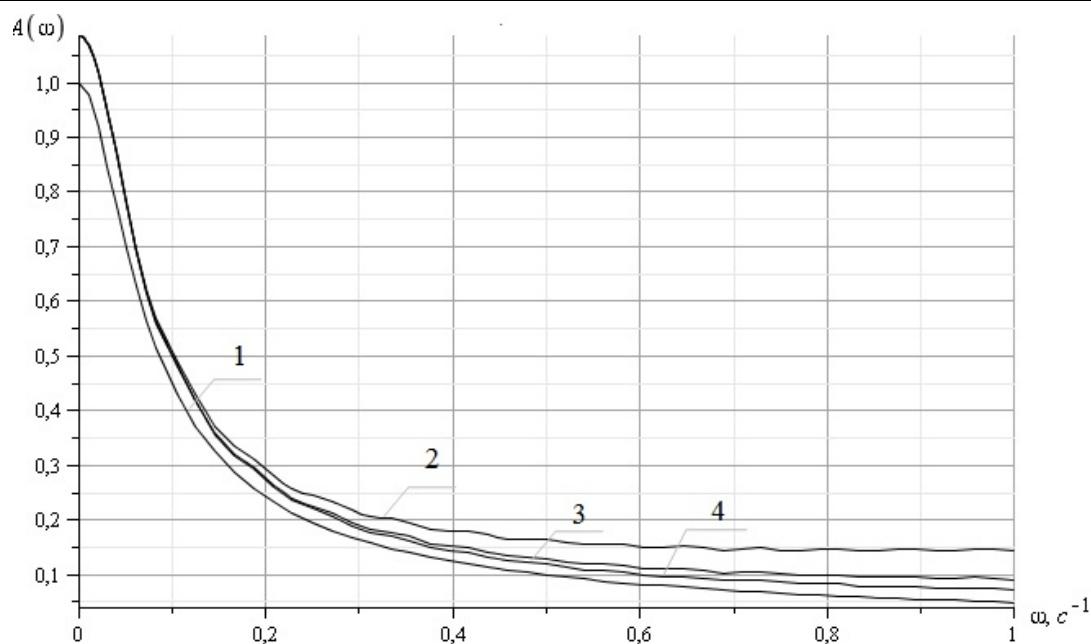


Рис. 6. Графіки амплітудно-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу $\tau=20$ с при інтервалі вимірювання температури $\Delta t=2$ с при постійній часу приладу, що формує тест-вплив: 1 – зразкова амплітудно-частотна характеристика, 2 – $\tau_0=2$ с; 3 – $\tau_0=1$ с; 4 – $\tau_0=0,5$ с

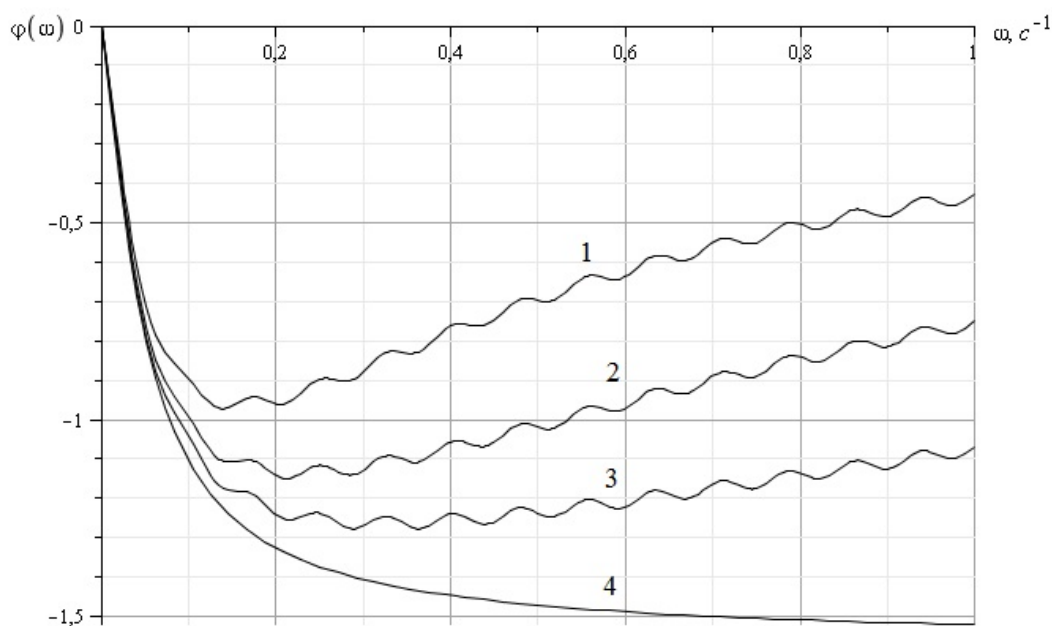


Рис. 7. Графіки фазово-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу $\tau=20$ с при інтервалі вимірювання температури $\Delta t=2$ с, якщо постійна часу приладу, що формує тепловий вплив: 1 – $\tau_0=2$ с; 2 – $\tau_0=1$ с; 3 – $\tau_0=0,5$ с; 4 – зразкова амплітудно-частотна характеристика для $\tau=20$ с

Графіки залежностей похибки при визначенні фазово-частотних характеристик сповіщувача від інтервалу дискретності Δt та постійної часу приладу τ_0 , що формує тепловий вплив, майже співпадають. На рис. 9 представлена залежність для теплового пожежного сповіщувача з постійною часу $\tau=20$ с.

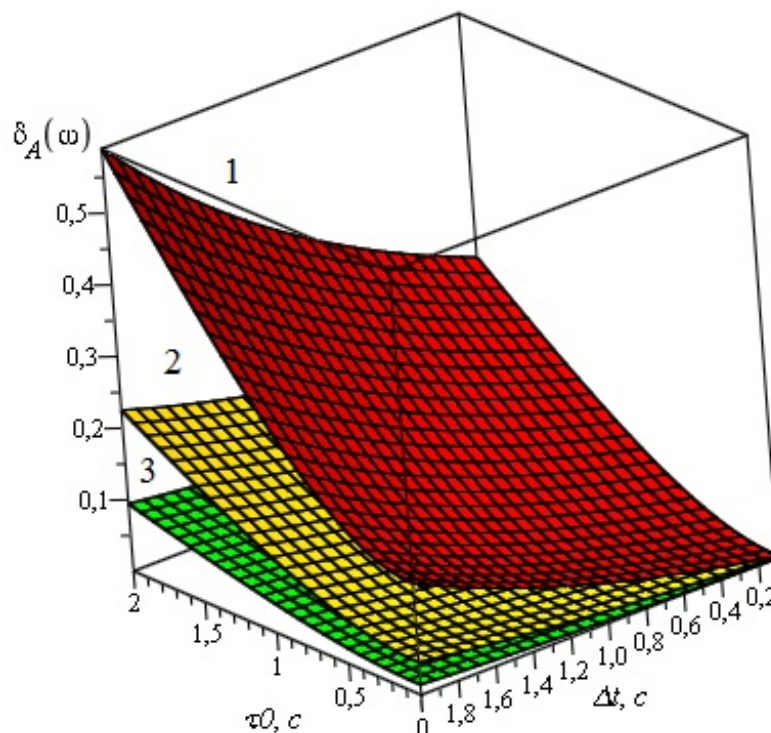


Рис. 8. Залежність похибки визначення амплітудно-частотних характеристик сповіщувача від постійної часу приладу τ_0 , що формує тест-вплив та інтервалу дискретності Δt для теплового сповіщувача з постійною часу: 1 – $\tau=5$ с; 2 – $\tau=10$ с; 3 – $\tau=20$ с

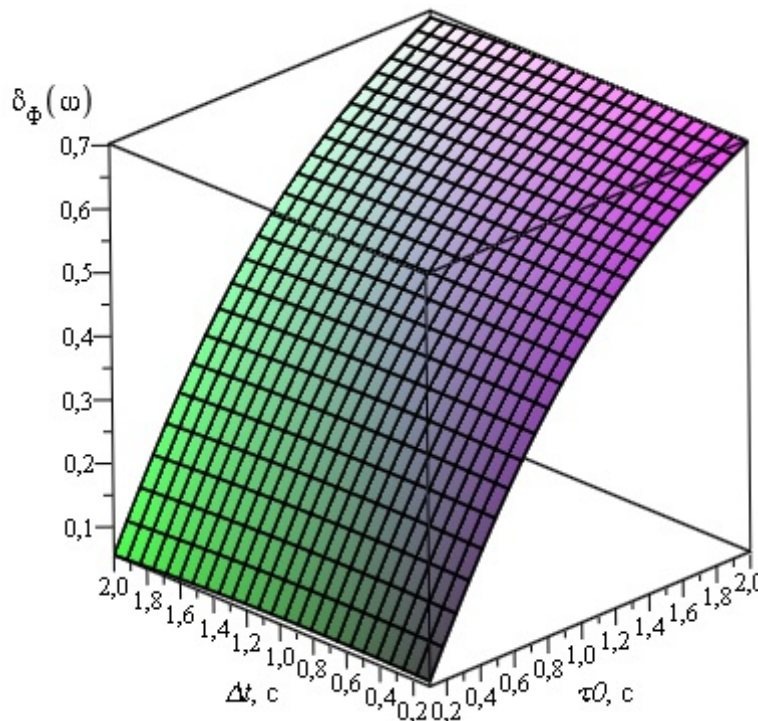


Рис. 9. Залежність похибки визначення амплітудно-частотних характеристик сповіщувача від постійної часу приладу, що створює тепловий вплив τ_0 та інтервалу виміру температури Δt для теплового сповіщувача с постійною часу $\tau=20$ с

Для сповіщувача з постійною часу $\tau=5$ с доцільно обрати інтервал дискретності $\Delta t=0,9$ с та постійну часу приладу, що формує тест-вплив, $\tau_0=0,1$ с; для сповіщувача з постійною часу $\tau=10$ с – інтервал дискретності $\Delta t=2$ с та постійну часу приладу, що формує тест-вплив, $\tau_0=0,1$ с, а для сповіщувача з постійною часу $\tau=20$ с – інтервал дискретності $\Delta t=2$ с та постійну часу приладу, що формує тест-вплив, $\tau_0=1,2$ с. При використанні приладів з постійною часу, що більша від запропонованої, необхідно зменшити інтервал дискретності у відповідності до залежностей, що представлені на рис.8, що приведе до збільшення числа обчислень.

Аналіз залежностей, що представлені на рис. 9, показує, що похибка при визначенні фазово-частотних характеристик сповіщувача буде слабо залежати від інтервалу дискретності Δt та більшою мірою буде визначатися величиною постійної часу приладу τ_0 , що формує тест-вплив. Для того, щоб величина похибки не перевищувала 5%, доцільно обрати інтервал дискретності $\Delta t=2$ с та постійну часу приладу, що формує тест-вплив, $\tau_0=0,09$ с.

Висновки. Ідентифікація параметрів при визначенні динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів у частотній області проводилася для теплових пожежних сповіщувачів класу А з постійною часу $\tau \leq 20$ с [7]. На сповіщувачі створювався тест-вплив у вигляді стрибкоподібної зміни температури та визначались допустимі межі інтервалу дискретності та постійної часу приладу, що формує тест-вплив з урахуванням того, що величина похибки при визначенні амплітудно-частотних та фазово-частотних характеристик повинна бути $\delta \leq 5\%$ [7]. Показано, що для сповіщувача з постійною часу $\tau=20$ с при визначенні амплітудно-частотних характеристик, інтервал дискретності повинен бути $\Delta t=2$ с, а постійна часу приладу, що формує тест-вплив, $\tau_0=1,2$ с; при визначенні фазово-частотних характеристик – $\Delta t=2$ с та $\tau_0=0,09$ с.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Харьков: ХВПТУ, 1993. – 288 с.
2. Безуглов Олег Евгеньевич. Методы определения временных характеристик тепловых пожарных извещателей при автономных испытаниях. : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02 / Безуглов Олег Евгеньевич. – Харьков, 2010. – 158 с. Библиогр. С. 152-158.
3. Коврегин Владимир Владимирович. Температурные объектовые испытания тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02 / Коврегин Владимир Владимирович. – Харьков, 2008. – 174 с. – Библиогр.: С. 163-169.
4. Абрамов Ю.А. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы температурных испытаний / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь. – АГЗУ, 2005. – 121 с.

5. Пат. №111447 України, МПК G 08 B 29/00. Спосіб визначення динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів / Абрамов Ю.О., Кальченко Я.Ю., Собина В.О.; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № у 201604945; заявл. 04.05.2016; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21, 4с.

6. Пат. №118847 України, МПК G 08 B 17/06, G 08 B 29/00. Спосіб визначення динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів / Абрамов Ю.О., Кальченко Я.Ю., Собина В.О. ; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № у 201702866; заявл. 27.03.2017; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16, 6с.

7. ДСТУ EN 54-5:2003 (EN 54-5: 2000, IDT). Системи пожежної сигналізації. Частина 5. Сповіщувачі пожежні теплові точкові. введ. 2003-16-12. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 162 с. – (Національні стандарти України).

Отримано редколегією 02.10.2017

Я.Ю. Кальченко, Ю.А. Абрамов

Идентификация параметров при определении динамических характеристик тепловых пожарных извещателей

Получены границы для параметров при определении динамических характеристик тепловых пожарных извещателей в частотной области.

Ключевые слова: тепловой пожарный извещатель, динамические характеристики, погрешность.

Y. Kalchenko, Y. Abramov

Identification of parameters in determining the dynamic characteristics of heat detectors

The limits for the parameters in determining the dynamic characteristics of thermal fire detectors in the frequency domain are determined.

Keywords: heat detector, dynamic characteristics, error.