

*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  $\Delta t$ , виміряється зростання температури чутливого елемента відносно попереднього моменту часу. Величина  $\Delta t$  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.

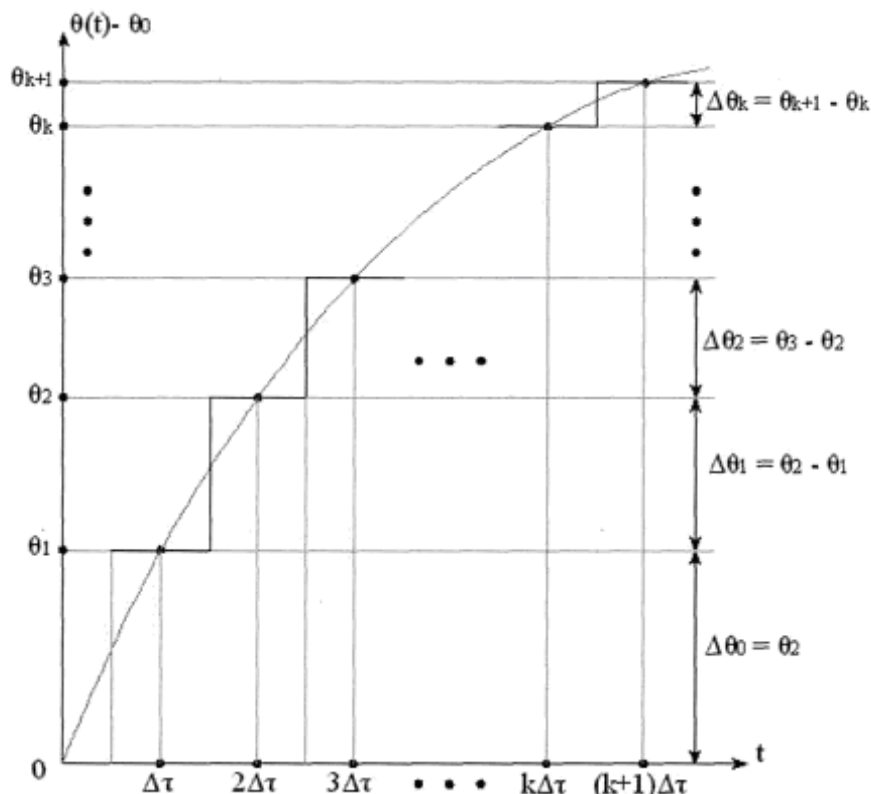


Рис. 1. Залежність температури чутливого елемента від часу при стрибкоподібній зміні температури зовнішнього середовища

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;  $\omega$  – 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  $\theta$ , в якому вони знаходились, стрибкоподібно змінювалась з  $25^{\circ}\text{C}$  до  $54^{\circ}\text{C}$ .

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.

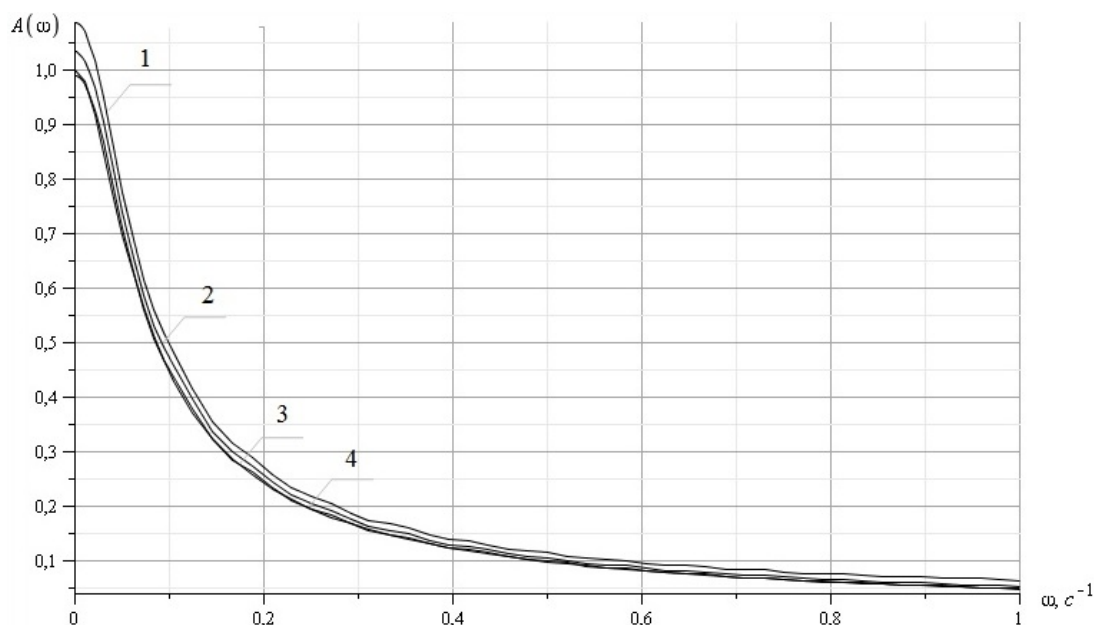


Рис. 2. Графіки амплітудно-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу 20 с при різних інтервалах дискретності  $\Delta t$ : 1 –  $\Delta t = 2$  с; 2 –  $\Delta t = 1$  с; 3 –  $\Delta t = 0,15$  с; 4 – зразкова амплітудно-частотна характеристика для  $\tau = 20$  с

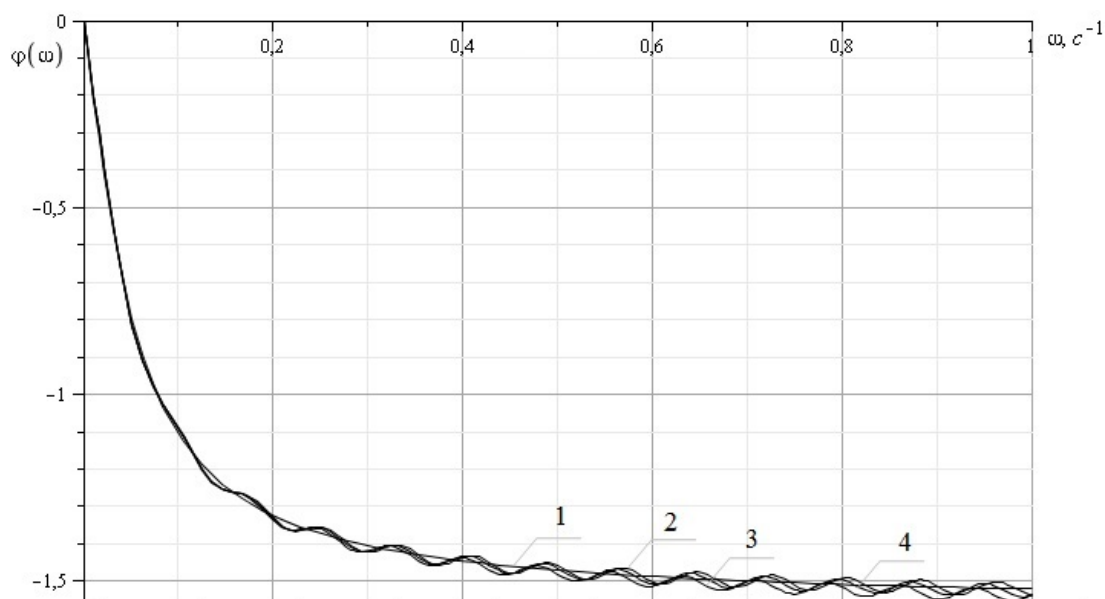


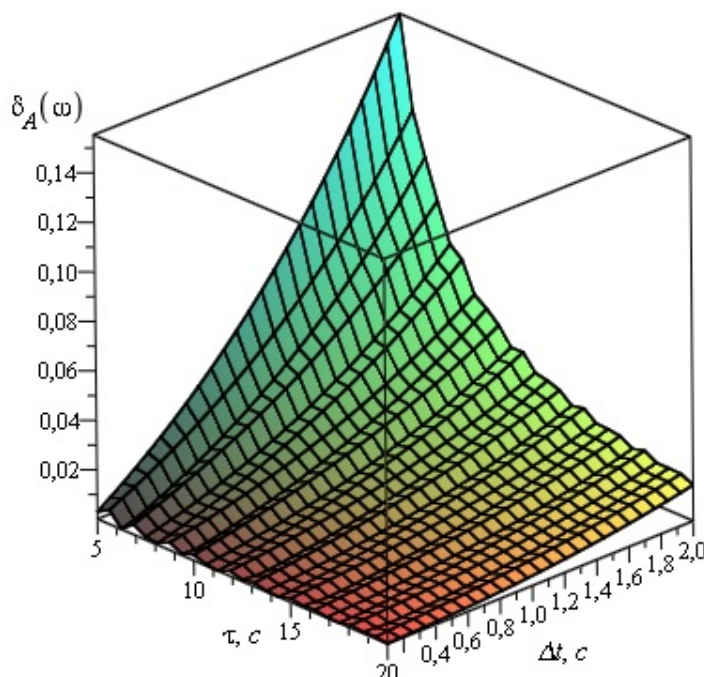
Рис. 3. Графіки фазово-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу 20 с при різних інтервалах дискретності  $\Delta t$ : 1 – зразкова фазово-частотна характеристика для  $\tau = 5$  с; 2 –  $\Delta t = 2$  с; 3 –  $\Delta t = 1$  с; 4 –  $\Delta t = 0,15$  с

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.

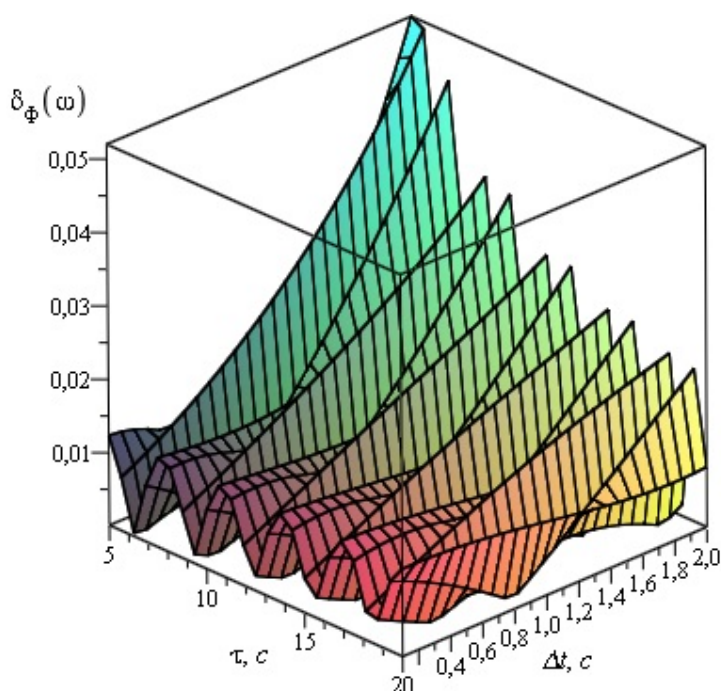


**Рис. 4. Залежність похибки визначення амплітудно-частотних характеристик сповіщувача від його постійної часу та інтервалу виміру температури**

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  $\tau_0$  – 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  $\tau_0$ , 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  $\tau_0$ , 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  $\Delta t$  та постійної часу приладу  $\tau_0$ , що формує тепловий вплив представлена на рис. 8.

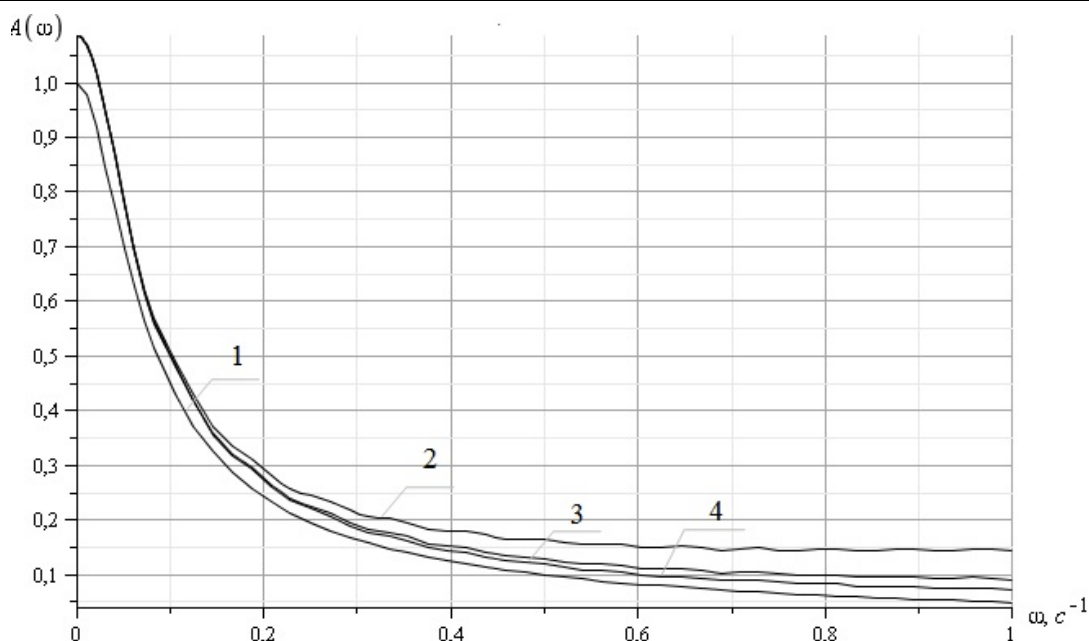


Рис. 6. Графіки амплітудно-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу  $\tau=20$  с при інтервалі вимірювання температури  $\Delta t=2$  с при постійній часу приладу, що формує тест-вплив: 1 – зразкова амплітудно-частотна характеристика, 2 –  $\tau_0=2$  с; 3 –  $\tau_0=1$  с; 4 –  $\tau_0=0,5$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

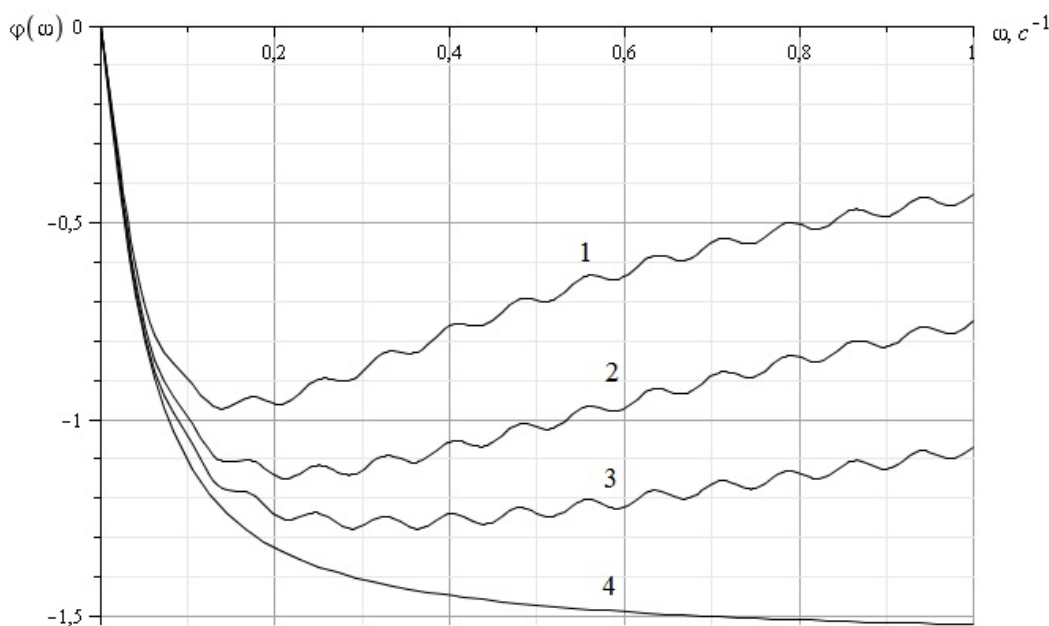
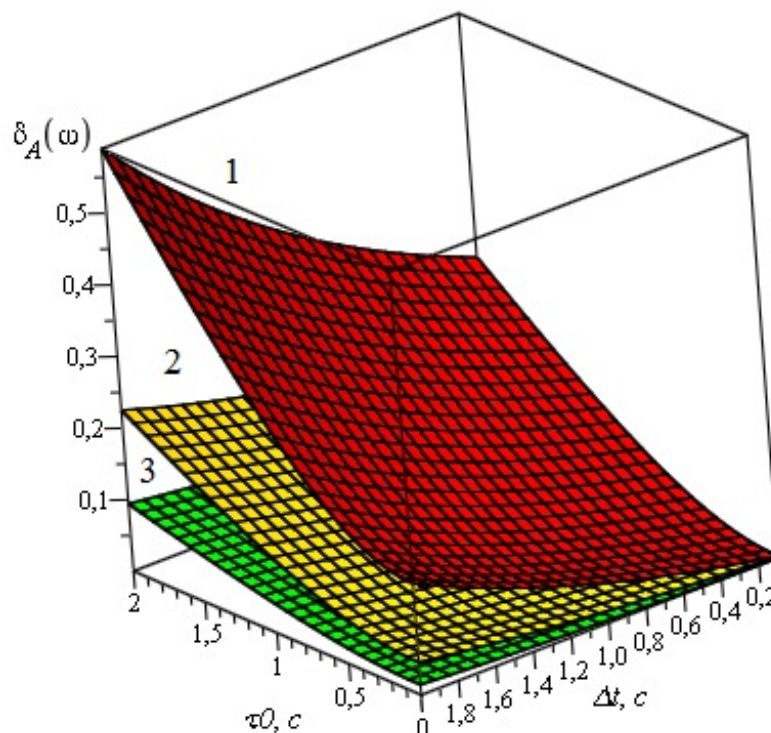


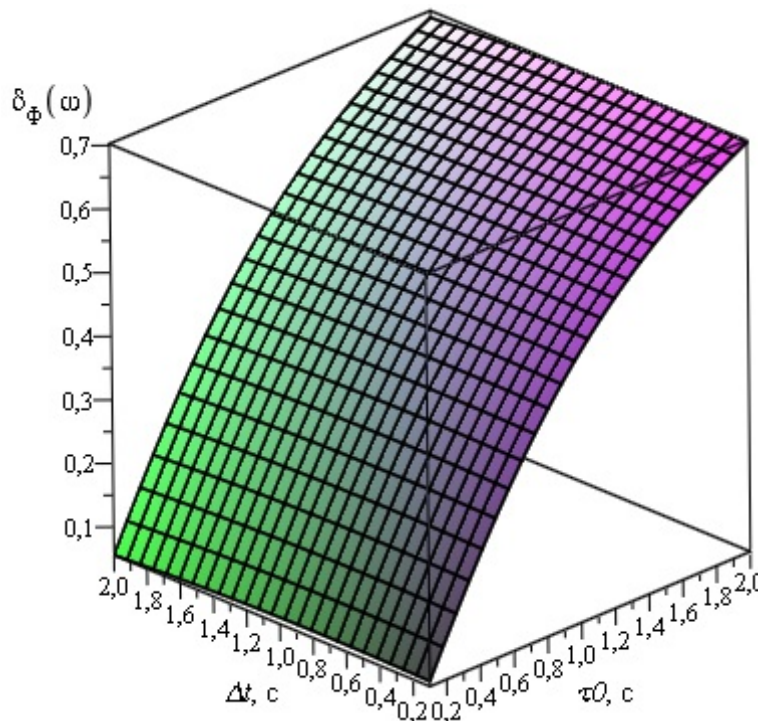
Рис. 7. Графіки фазово-частотних характеристик сповіщувача з постійною часу  $\tau=20$  с при інтервалі вимірювання температури  $\Delta t=2$  с, якщо постійна часу приладу, що формує тепловий вплив: 1 –  $\tau_0=2$  с; 2 –  $\tau_0=1$  с; 3 –  $\tau_0=0,5$  с; 4 – зразкова амплітудно-частотна характеристика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

Графіки залежностей похибки при визначенні фазово-частотних характеристик сповіщувача від інтервалу дискретності  $\Delta t$  та постійної часу приладу  $\tau_0$ , 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  $\tau_0$ , що формує тест-вплив та інтервалу дискретності  $\Delta t$  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  $\tau_0$  та інтервалу виміру температури  $\Delta t$  для теплового сповіщувача з 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  $\Delta t$  та більшою мірою буде визначатися величиною постійної часу приладу  $\tau_0$ , 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.