

*В. О. Собина, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,
А. А. Хижняк, викладач, НУЦЗУ,
Ю. О. Абрамов, д.т.н., професор, головн. н.с., НУЦЗУ*

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ КАНАЛУ УПРАВЛІННЯ КУТОВИМ ПОЛОЖЕННЯМ ФОРСУНКИ МОБІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНОЇ УСТАНОВКИ

Із використанням показників якості визначені основні параметри каналу управління кутовим положенням форсунки мобільної пожежної установки, яка містить в контурі управління людину-оператора.

Ключові слова: мобільна пожежна установка, канал управління форсункою, характер перехідного процесу, перерегулювання, час перехідного процесу.

Постановка проблеми. В останній час значно підвищився інтерес до використання при гасінні пожеж мобільних засобів пожежогасіння [1]. Такі засоби пожежогасіння можуть бути реалізовані для використання як в автоматичному режимі, так і в автоматизованому режимі роботи. Другий режим роботи мобільних пожежних установок припускає наявність людини-оператора, яка включається в контур управління. В зв'язку з цим, однією із проблем при побудові автоматизованих систем пожежогасіння мобільного типу є погодження характеристик людини-оператора із характеристиками елементів таких систем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Концентрована інформація стосовно автоматичних та автоматизованих засобів пожежогасіння мобільного типу наведень в [1]. В роботі технічні характеристики та особливості експлуатації мобільних пожежних установок наводяться без врахування наявності людини-оператора в таких установках. В роботі [2] наводяться дані стосовно того, що людський фактор є суттєвим для забезпечення ефективного функціонування систем управління. Одним із варіантів побудови ефективних систем пожежогасіння мобільного типу є використанням в якості базового елемента сігвея [3]. В [4] наведена схема мобільної пожежної установки, в якій реалізований такий підхід. В цій установці передбачений канал управління кутовим положенням форсунки, за допомогою якої формується струмінь вогнегасної речовини, яка доставляється до зони горіння. Слід зазначити, що в [4] відсутня інформація стосовно основних параметрів такого каналу управління, який включає до свого складу людину-оператора. Що стосується характеристик людини-оператора такої мобільної пожежної установки, яка працює в режимі управління форсункою, то в роботі [5] такі характеристики одержані експериментальним шляхом.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є

обґрунтування вибору основних параметрів каналу управління кутовим положенням форсунки мобільної пожежної установки.

Управління кутовим положенням форсунки здійснюється відповідно до схеми, структура якої наведена на рис. 1.

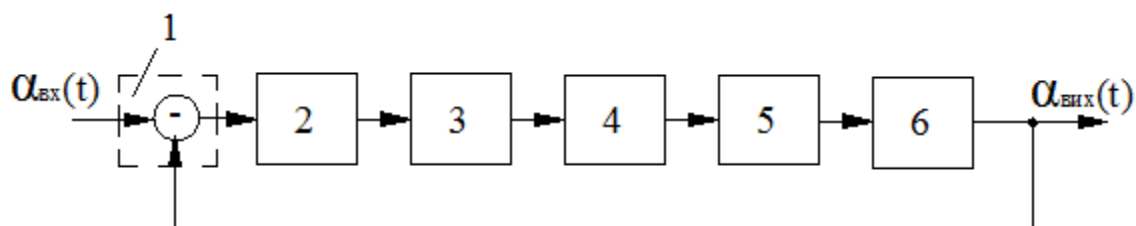


Рис. 1. Схема управління форсункою: 1 – візуальний пристрій; 2 – людина-оператор; 3 – перетворювач; 4 – підсилювач потужності; 5 – електричний двигун; 6 – редуктор

Передаточна функція каналу управління описується виразом

$$W_3(p) = W(p)[1 + W(p)]^{-1}, \quad (1)$$

де $W(p)$ – передаточна функція, яка має вигляд

$$W(p) = K \exp(-p\tau_0) [p(\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1)]^{-1}. \quad (2)$$

В цьому виразі K – коефіцієнт передачі; τ_0, τ_1 – запізнення та постійна часу людини-оператора; τ_2 – постійна часу електричного двигуна. Величини параметрів τ_0 та τ_1 згідно [5] можуть бути такими, що $\tau_0 = 0,2$ с та $\tau_1 = 0,3$ с. Для визначення параметрів τ_2 та K будемо враховувати показники якості, зокрема, характер перехідного процесу, час перехідного процесу та перерегулювання. З цією метою скористаємось дійсною частотною характеристикою (ДЧХ) каналу управління форсункою.

Для визначення ДЧХ запишемо вираз для амплітудно-фазової частотної характеристики $W_3(j\omega)$ каналу управління форсункою, який має вигляд

$$W_3(j\omega) = K \exp(-j\omega\tau_0) [j\omega(1 + j\omega\tau_1)(1 + j\omega\tau_2) + K \exp(-j\omega\tau_1)]^{-1}, \quad (3)$$

де j – уявна одиниця.

Якщо враховувати співвідношення

$$\exp(-j\omega\tau_0) = \cos \omega\tau_0 - j \sin \omega\tau_0, \quad (4)$$

то вираз (3) можна представити наступним чином

$$W_3(j\omega) = M(\omega) + jN(\omega), \quad (5)$$

де $M(\omega), N(\omega)$ – дійсна частотна характеристика та уявна частотна характеристика (УЧХ) каналу управління форсункою відповідно, які мають вигляд

$$M(\omega) = K \left[\cos \omega \tau_0 (K \cos \omega \tau_0 - \omega^2 (\tau_1 + \tau_2)) - \sin \omega \tau_0 (\omega - \tau_1 \tau_2 \omega^3 - K \sin \omega \tau_0) \right] \times \\ \times \left[(K \cos \omega \tau_0 - \omega^2 (\tau_1 + \tau_2))^2 + (\omega - \tau_1 \tau_2 \omega^3 - K \sin \omega \tau_0)^2 \right]^{-1}; \quad (6)$$

$$N(\omega) = -K \left[\sin \omega \tau_0 (K \cos \omega \tau_0 - \omega^2 (\tau_1 + \tau_2)) - \cos \omega \tau_0 (\omega - \tau_1 \tau_2 \omega^3 - K \sin \omega \tau_0) \right] \times \\ \times \left[(K \cos \omega \tau_0 - \omega^2 (\tau_1 + \tau_2))^2 + (\omega - \tau_1 \tau_2 \omega^3 - K \sin \omega \tau_0)^2 \right]^{-1}. \quad (7)$$

Для ефективної роботи каналу управління форсункою доцільно, щоб перехідний процес мав монотонний характер. З цією метою необхідно, щоб виконувались умови [6]

$$M(0) \geq |M(\omega)|; \\ \omega_n M(0) \geq \int_0^{\infty} |M(\omega)| d\omega; \quad (8) \\ M(0) \cos \left[\pi (1 + \omega_n \omega^{-1})^{-1} \right] \geq M(\omega),$$

де ω_n – полоса пропускання каналу управління.

Між вихідним сигналом каналу управління $\alpha_{\text{вих}}(t)$ та ДЧХ $M(\omega)$ існує залежність [7]

$$\alpha_{\text{вих}}(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} M(\omega) \omega^{-1} \sin \omega t d\omega, \quad (9)$$

яку для функції $M(\omega)$, що не зростає на інтервалі $0 \div \omega_n$, можна представити у вигляді знакозмінного ряду, який сходиться,

$$\alpha_{\text{вих}}(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^m \int_{\frac{\pi n}{t}}^{\frac{\pi(n+1)}{t}} M(\omega) \omega^{-1} \sin \omega t d\omega. \quad (10)$$

Для такого ряду має місце обмеження [8]

$$\alpha_{\text{вих}}(t) \leq \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{t}} M(\omega) \omega^{-1} \sin \omega t d\omega, \quad (11)$$

яке можна підсилити, якщо замість функції $M(\omega)$ скористатись її значенням при $\omega=0$, тобто $M(0)$. В цьому випадку вираз (11) приймає вигляд

$$\alpha_{вих}(t) \leq \frac{2}{\pi} M(0) \int_0^{\frac{\pi}{t}} \omega^{-1} \sin \omega t d\omega. \quad (12)$$

Якщо врахувати, що $y = \omega t$, то вираз (12) трансформується наступним чином

$$\alpha_{вих}(t) \leq \frac{2}{\pi} M(0) \int_0^{\pi} y^{-1} \sin y dy. \quad (13)$$

Внаслідок того, що [9]

$$\int_0^{\pi} y^{-1} \sin y dy = \text{Si}(\pi) = 1,85, \quad (14)$$

вираз (13) приймає вигляд

$$\alpha_{вих}(t) \leq \frac{3,7}{\pi} M(0) = \frac{3,7}{\pi} \alpha_{уст}. \quad (15)$$

Тоді у відповідності із визначенням перерегулювання σ [10] можна записати

$$\sigma = [\alpha_{вих}(t) - \alpha_{уст}] \alpha_{уст}^{-1} \cdot 100\% \leq 18,0\%, \quad (16)$$

звідки витікає, що максимальне значення перерегулювання в каналі управління форсункою при ДЧХ, яка не зростає, не перевищує 18,0%.

Для визначення часу перехідного процесу $t_{п}$ скористаємося методом, який оснований на апроксимації ДЧХ $M(\omega)$ трапецеїдальною функцією [6]. При такій апроксимації характерними параметрами є частоти ω_1 та ω_2 (рис. 2).

Відношення цих частот $\beta = \omega_1, \omega_2^{-1}$ є аргументом функції $t_{п}\omega_2$, графік якої наведено на рис. 3.

Алгоритм визначення часу перехідного процесу, характер зміни якого є монотонним, а величина перерегулювання не перевищує 18,0%, зводиться до наступного

– при фіксованих значеннях параметрів τ_2 та K у відповідності

до (6) будується залежність $M(\omega)$;

- здійснюється перевірка виконання умов (8);
- якщо умови (8) виконуються, то здійснюється апроксимація частотної характеристики $M(\omega)$ трапецеїдальною функцією;
- визначаються параметри ω_1 та ω_2 трапецеїдальної функції;
- по величині $\beta = \omega_1 \omega_2^{-1}$ із використанням залежності $t_{\text{п}} \omega_2 = f(\beta)$ визначається величина часу перехідного процесу $t_{\text{п}}$.

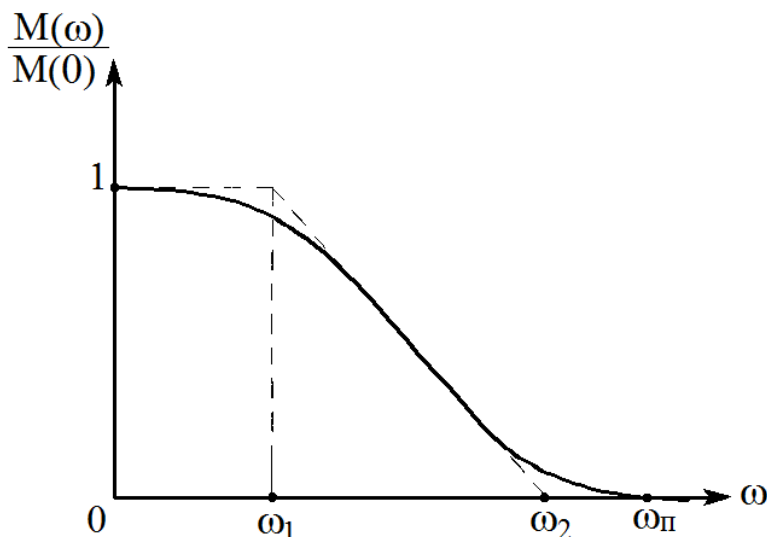


Рис. 2. Апроксимація ДЧХ трапецеїдальною функцією

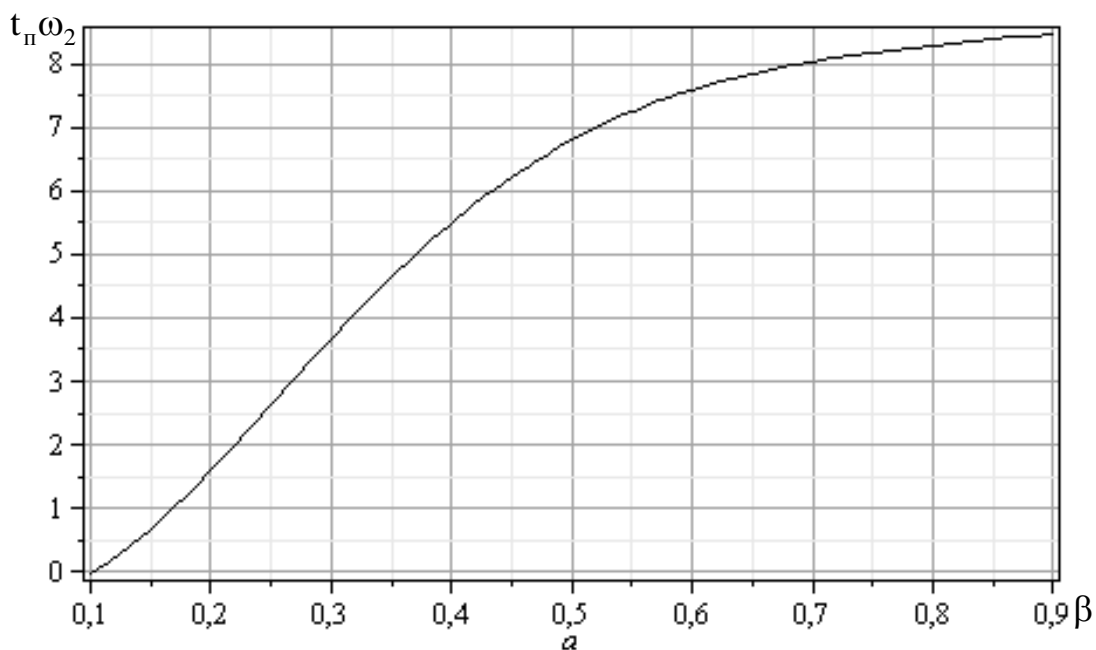


Рис. 3. Залежність $t_{\text{п}} \omega_2 = f(\beta)$

В табл. 1 наведені результати визначення часу перехідного процесу $t_{\text{п}}$ каналу управління форсункою у відповідності із наведеним алгоритмом

Табл. 1. Величини часу перехідного процесу

$\tau_2, \text{с}$		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$K, \text{с}^{-1}$	0,1	28,8	28,5	8,0	7,6	27,2	26,7
	0,3	8,7	8,3	7,8	7,1	5,8	6,5
	0,5	4,5	4,2	3,7	6,5	7,6	8,3
	0,7	2,7	2,6	5,2	5,9		
	0,9	3,4	4,0				

Аналіз цієї таблиці свідчить про те, що області найменших значень часу перехідного процесу $t_{\text{п}}$ відповідає область, яка обмежена величинами $\tau_2 = (0,2 \div 0,4)\text{с}$ та $K = (0,5 \div 0,9)\text{с}^{-1}$. Мінімум часу $t_{\text{п}}$ має місце при $\tau_2 = 0,2\text{с}$ та $K = 0,7\text{с}^{-1}$ і він дорівнює 2,6с.

Висновки. Для реалізації каналу управління кутовим положенням форсунки в мобільній пожежній установці, яка передбачає наявність людини-оператора, обґрунтований вибір параметрів цього каналу управління.

Вибір таких параметрів здійснено із використанням показників якості, зокрема, характеру перехідного процесу, часу перехідного процесу та перерегулювання. Показано, що при монотонному характері перехідного процесу, час якого складає 2,6 с, а величина перерегулювання не перевищує 18,0 %, величина коефіцієнта передачі каналу управління кутовим положенням форсунки повинна бути $0,7\text{с}^{-1}$, а величина постійної часу електричного двигуна – 0,2 с. При цьому враховувалось, що час запізнення та постійна часу людини-оператора складають відповідно 0,2 с та 0,3 с.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горбань Ю. И. Пожарные работы и ствольная техника в пожарной автоматике и технике. М.: Пожнаука, 2013. С. 352.
2. Жабреев В. О., Павловская О.О., Федяев К.В. Модели и оценка человеческого фактора больших систем/ В.О. Жабреев,. Челябинск: ЧИПС, 2007. С. 219.
3. Пат. 119180 Україна, МПК А62С 28/00, А62С 37/00. Мобільна пожежна установка/ Абрамов Ю.О., Тищенко Є.О., Собина В.О.; власник НУЦЗУ. № 201704071; заяв. 24.04.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. №17.
4. Пат. 124928 Україна, МПК А62С 27/00, А62С 37/00. Мобільна пожежна установка/ Абрамов Ю.О., Тищенко Є.О., Собина В.О., Хижняк А.А.; власник НУЦЗУ. № 201711444; заяв. 23.11.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. №8.
5. Собина В. А. Хижняк А.А., Абрамов Ю.А. Определение параметров модели оператора мобильной пожарной установки. Проблемы по-

жарной безопасности. – Х.: НУЦЗУ, 2019. – № 45. С. 161–166.

6. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование / Н.Н. Иванченко. М.: Машиностроение, 1978. С. 736.

7. Ту Ю. Современная теория управления / Ю.Ту. М.: Машиностроение, 1981. С. 472.

8. Прудников А. П., Брычков Ю. А., Маричев О. Н. Интегралы и ряды / А.П. Прудников, М.: Наука, 1981. С. 798.

9. Янке Е., Лёш Ф. Специальные функции М.: Наука, 1977. С. 344.

10. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики. Х.: ХВПТУ, 1993. С. 288.

Отримано редколегією 05.01.2020

В. А. Собина, А. А. Хижняк, Ю. А. Абрамов

Обоснование выбора параметров канала управления угловым положением форсунки мобильной пожарной установки

С использованием показателей качества определены основные параметры канала управления угловым положением форсунки мобильной пожарной установки, которая содержит в контуре управления человека – оператора.

Ключевые слова: мобильная пожарная установка, канал управления форсункой, характер переходного процесса, перерегулирование, время переходного процесса.

V. Sobina, A. Hizhnyak, Yu. Abramov

Justification for the selection of the parameters of the channel for controlling the angular position of the nozzle of a mobile fire installation

Using quality indicators, the main parameters of the channel for controlling the angular position of the nozzle of a mobile fire installation, which contains a human operator in the control loop, are determined.

Keywords: mobile fire installation, nozzle control channel, nature of the transient process, overshoot, transient process time.