

*Ю.О. Абрамов, д.т.н., професор, головн. н.с., НУЦЗУ,  
В.Г. Борисенко, к.т.н., доцент, доц. каф., НУЦЗУ,  
В.І. Кривцова, д.т.н., професор, проф. каф., НУЦЗУ*

## **КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГЕНЕРАТОРІВ ВОДНЮ ЯК ПРОФІЛАКТИКА ЇХ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

Обґрунтовано спосіб контролю технічного стану генератора водню, який є складовою профілактики його пожежної безпеки.

**Ключові слова:** генератор водню, контроль технічного стану, частотна характеристика, профілактика пожежної безпеки.

**Постановка проблеми.** За останні роки має місце стійка тенденція до розповсюдження енергетичних систем із використанням водню, що часто пов'язують із підвищеною пожежовибухонебезпекою. Методи визначення рівня пожежовибухонебезпеки водневих енергетичних систем наведені в роботі [1], але досі не вирішена комплексна проблема, частиною якої є профілактика пожежної безпеки таких систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [1] наведений алгоритм синтезу бортових енергетичних систем із використанням водню, який забезпечує необхідний рівень пожежної безпеки на етапі проектування таких систем. Наслідки прояву пожежовибухонебезпечних ситуацій в таких системах досить детально вивчені в роботі [2] на прикладі автотранспортних засобів. Деякі профілактичні процедури стосовно генераторів водню як елемента системи його зберігання та подачі наведені в [3]. Однією із проблем є те, що поза меж уваги залишається такий ефективний елемент профілактичних процедур, як контроль технічного стану систем зберігання та подачі водню та їх елементів.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є обґрунтування способу контролю технічного стану генератора водню як складової профілактики виникнення пожежовибухонебезпечної ситуації.

При експлуатації генератора водню, який є функціональною складовою системи зберігання та подачі водню [1], приймається гіпотеза стосовно того, що має місце збільшення рівня пожежної безпеки генератора водню при виході його параметрів за межі допустимих значень. Такий підхід використовується при одержанні оцінок рівня пожежної безпеки об'єктів.

Розглянемо генератор водню, схема якого наведена в роботі [3]. В якості тест-впливів будемо використовувати зміну площі  $F(t)$  вихідного отвору генератора водню за синусоїдальним законом у часі на частотах  $\omega_1$  та  $\omega_2$ , величини яких апріорі є заданими. Крім того, амплітуду цього тест-впливу  $F_m$  будемо задавати апріорі і забезпечувати однаковою на цих частотах. Внаслідок цього можна записати, що

$$F_1(t) = F_m \sin \omega_1 t ; \quad F_2(t) = F_m \sin \omega_2 t . \quad (1)$$

Якщо площа  $F(t)$  вихідного отвору генератора водню змінюється згідно (1), то тиск в його порожнині буде змінюватись відповідно

$$P_1(t) = P_{1m} \sin[\omega_1 t + \varphi(\omega_1)];$$

$$P_2(t) = P_{2m} \sin[\omega_2 t + \varphi(\omega_2)], \quad (2)$$

де  $P_{1m}, P_{2m}$  – амплітуди на частотах  $\omega_1$  та  $\omega_2$  відповідно;  $\varphi(\omega_1), \varphi(\omega_2)$  – фази на частотах  $\omega_1$  та  $\omega_2$  відповідно.

Для генератора водню такого типу амплітудно-частотна характеристика  $A(\omega)$  описується виразом [4]

$$A(\omega) = P_m(\omega) F_m^{-1} = K(1 + \omega^2 \tau^2)^{-0,5}, \quad (3)$$

де  $K, \tau$  – коефіцієнт передачі та постійна часу відповідно.

Згідно (3) можна записати співвідношення

$$K^2 = A^2(\omega_1)(1 + \omega_1^2 \tau^2) = A^2(\omega_2)(1 + \omega_2^2 \tau^2), \quad (4)$$

із якого витікає вираз для постійної часу  $\tau$  генератора водню (з урахуванням (3))

$$\tau = \omega_2^{-1} \left[ \left[ 1 - (P_{2m} P_{1m}^{-1})^2 \right] \left[ (P_{2m} P_{1m}^{-1})^2 - (\omega_1 \omega_2^{-1})^2 \right]^{-1} \right]^{0,5}. \quad (5)$$

Вираз для коефіцієнта передачі  $K$  генератора водню з урахуванням (3) буде мати вигляд

$$K = A(\omega_1)(1 + \omega_1^2 \tau^2)^{0,5} = P_{1m} F_m^{-1} \left[ \left[ 1 - (\omega_1 \omega_2^{-1})^2 \right] \times \left[ 1 - (P_{1m} P_{2m}^{-1})^2 (\omega_1 \omega_2^{-1})^2 \right]^{-1} \right]^{0,5}. \quad (6)$$

Моделі (5), (6) використовуються для побудови алгоритму контролю технічного стану генератора водню. Якщо  $\tau_0$  та  $K_0$  – нормативні значення постійної часу та коефіцієнта передачі генератора водню, то

алгоритм контролю технічного стану генератора водню зводиться до послідовної реалізації наступних операцій [5]:

- апріорі задають величини параметрів  $\omega_1, \omega_2$  та  $F_m$ ;
- здійснюють зміну площі  $F(t)$  вихідного отвору генератора водню згідно виразів (1);
- в режимі, що встановився, вимірюють величини параметрів  $P_{1m}$  та  $P_{2m}$ ;
- результат контролю технічного стану генератора водню визначають згідно критеріїв

$$\left| \omega_2^{-1} \left[ \left[ 1 - (P_{2m} P_{1m}^{-1})^2 \right] \left[ (P_{2m} P_{1m}^{-1})^2 - (\omega_1 \omega_2^{-1})^2 \right]^{-1} \right]^{0,5} - \tau_0 \right| \leq \varepsilon_1;$$

$$\left| P_{1m} F_m^{-1} \left[ \left[ 1 - (\omega_2^{-1})^2 \right] \left[ 1 - (P_{1m} P_{2m}^{-1})^2 (\omega_1 \omega_2^{-1})^2 \right]^{-1} \right]^{0,5} - K_0 \right| \leq \varepsilon_2, \quad (7)$$

де  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – малі числа.

Якщо умови (7) виконуються, то технічний стан генератора водню відповідає вимогам нормативної документації (і, в тому числі, вимогам стосовно рівня його пожежної небезпеки). Якщо умови (7) не виконуються, то це трактується в термінах теорії надійності як раптова відмова. Наслідком цього є зменшення вірогідності безвідмовної роботи генератора, що, згідно стандарту ГОСТ 12.1.004-91, веде до збільшення рівня його пожежної небезпеки. В цьому випадку необхідно провести відновлювальні процедури, які одночасно є складовими профілактичних процедур стосовно забезпечення відповідності рівня пожежної небезпеки генератора водню вимогам нормативної документації.

**Висновки.** Обґрунтована можливість контролю параметрів генератора водню, до яких відносяться коефіцієнт передачі та постійна часу. Ці параметри відносяться до класу інтегральних параметрів генератора водню і відображають його технічний стан. Контроль цих інтегральних параметрів здійснюється за допомогою тест-впливу, який представляє собою зміну площі вихідного отвору генератора водню за синусоїдальним законом. Запропоновано критерії, які визначають технічний стан генератора водню і, як наслідок, рівень його пожежовибухонебезпеки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю. А., Кривцова В. И., Соловей В. В. Системы хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для бортовых энергетических установок // 2002. С. 277.
2. Кривцова В. И., Ключка Ю. П. Пожаровзрывобезопасность систем хранения водорода на автотранспортных средствах // НУЦЗУ. 2013. С. 236.

3. Абрамов Ю. А., Корниенко Р. В., Кривцова В. И. Пожаровзрывобезопасность систем хранения и подачи водорода на основе гидрореагирующих составов // АПБУ. 2005. С. 114.

4. Абрамов Ю. А., Борисенко В. Г., Кривцова В. И. Модели и характеристики генераторов водорода на основе гидрореагирующих составов // НУГЗУ. 2018. С. 72.

5. Спосіб контролю газогенераторів систем зберігання та подачі водню: пат. 128975 Україна, №201805657; заявл. 21.05.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

*Отримано редколегією 04.09.2019*

Ю.А. Абрамов, В.Г. Борисенко, В.И. Кривцова

**Контроль технического состояния генераторов водорода как профилактика их пожарной опасности**

Обоснован способ контроля технического состояния генераторов водорода, который является составляющей профилактики его пожарной опасности.

**Ключевые слова:** генератор водорода, контроль технического состояния, частотная характеристика, профилактика пожарной безопасности.

Yu. Abramov, V. Borisenko, V. Krivtsova

**Control of the technical state of generators of hydrogen as prophylaxis of their fire hazard**

The method of the technical state of generators of hydrogen is reasonable that, is the constituent of prophylaxis of fire hazard.

**Keywords:** generator of hydrogen, control of the technical state, frequency description, prophylaxis of fire hazard.