УДК 661.96:614.84 DOI 10.33042/2522-1809-2021-4-164-153-157

Ю.О. Абрамов, В.І. Кривцова, А.О. Михайлюк

Національний університет цивільного захисту України, Україна

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА НАДІЙНОСТІ ГАЗОГЕНЕРАТОРА СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ТА ПОДАЧІ ВОДНЮ

Розроблений алгоритм визначення одного із показників надійності основного елемента системи зберігання та подачі водню – газогенератора. Такий алгоритм входить складовою частиною до загального алгоритму щодо забезпечення необхідного рівня пожежобезпеки систем зберігання та подачі водню. Алгоритм містить реалізацію декількох етапів. На першому етапі із використанням виразу для амплітудно-частотної характеристики газогенератора одержані функціональні залежності для його постійних часу. Ці функціональні залежності включають значення коефіцієнта передачі та амплітудно-частотних характеристик, які визначені при трьох апріорі заданих значеннях частоти. На другому етапі визначається амплітудно-частотна характеристика газогенератора. З цією метою використовується масив даних, який характеризує реакцію газогенератора на тест-вплив у вигляді стрибкоподібної зміни площі його вихідного отвору. Амплітудно-частотна характеристика газогенератора визначається чисельним шляхом, а її параметрами є приріст величини тиску у порожнині газогенератора та інтервал часу, на якому цей приріст визначається. Для визначення цього інтервалу часу використовується теорема Котельнікова-Найквіста-Шеннона. На третьому етапі здійснюється визначення ймовірності виходу значень постійних часу газогенератора за межі допускової зони. Для цього використовуються моделі постійних часу газогенератора та їхні метрологічні характеристики. На четвертому етапі визначається ймовірність відмови газогенератора, для чого використовується інформація попереднього етапу. На останньому етапі наводиться алгоритм визначення ймовірності відмови газогенератора системи зберігання та подачі водню, який наведено у словесній формі.

Ключові слова: *система зберігання та подачі водню, газогенератор, постійна часу, амплітудно-частотна характеристика, ймовірність відмови газогенератора.*

Постановка проблеми

Серед найбільш актуальних та глобальних проблем є проблеми, які пов’язані з екологією та дефіцитом і подорожчанням енергетичних ресурсів.

Одним із перспективних напрямків, здатних суттєво змінити сучасну ситуацію у світовій енергетиці, є перехід до альтернативних палив, зокрема, до водню [1]. Ефективність використання водню визначається не тільки його фізико-хімічними властивостями, але і технічними характеристиками його систем зберігання та подачі [2]. Дуже важливою характеристикою таких систем є рівень їхньої пожежобезпеки, який забезпечується системою організаційних та технічних методів і засобів. У зв’язку з цим однією із проблем при експлуатації водневих систем є забезпечення необхідного рівня ефективності організаційно-технічних заходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [3] звертається увага на необхідність врахування під час проектування водневих систем показників пожежонебезпеки. Одним із таких показників, який відноситься до показників інтегрального типу, є ймовірність виникнення пожежі в системі. У роботі представлений алгоритм одержання оцінки рівня пожежонебезпеки систем зберігання та подачі водню, в основі якого лежить використання такого показника, як ймовірність безвідмовної роботи системи за умови унеможливлення виникнення в ній пожежі. Для забезпечення даного рівня ймовірності безвідмовної роботи системи зберігання та подачі водню використовується контроль її технічного стану [4]. Найбільш поширені алгоритми контролю технічного стану основного елемента такої системи – газогенератора наведені у роботі [5]. Найчастіше параметрами, які контролюються, є температура [6] та концентрація водню [7]. Як правило, алгоритми контролю технічного стану, зокрема, газогенератора передбачають контроль не більше двох параметрів [8]. За останній час з’явились результати досліджень щодо розробки алгоритмів контролю технічного стану газогенераторів систем зберігання та подачі водню, які враховують їхні динамічні властивості. Так, у роботі [9] наведені алгоритми контролю технічного стану газогенераторів систем зберігання та подачі водню,

© Абрамов Ю.О., Кривцова В.І., Михайлюк А.О.

в основі яких лежить використання часових характеристик газогенераторів.

Слід зазначити, що стосовно до систем зберігання та подачі водню результати контролю їхнього технічного стану не використовуються для одержання оцінок показників надійності. Для оцінки технічного стану систем зберігання та подачі водню використовується допусковий критерій [10].

У зв'язку із цим актуальною проблемою є розробка алгоритмів контролю технічного стану водневих систем, які включають одержання оцінок показників їхньої якості.

Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є обґрунтування алгоритму визначення показника надійності газогенератора системи зберігання та подачі водню за результатами контролю його технічного стану. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- одержати функціональні залежності для узагальнених параметрів газогенератора системи зберігання та подачі водню, які враховують його динамічні властивості;
- визначити алгоритм для одержання значень амплітудно-частотної характеристики газогенератора на апріорі заданих частотах та значення його коефіцієнта передачі;
- визначити моделі для одержання оцінки ймовірності виходу значень узагальнених параметрів – постійних часу газогенератора за межі допускової зони;
- навести алгоритм оцінки показника надійності газогенератора системи зберігання та подачі водню – ймовірності відмови газогенератора.

Виклад основного матеріалу

Однією із математичних моделей, яка описує процеси генерації водню в системі зберігання та подачі водню на основі гідрореагуючих складів, є передаточна функція газогенератора. Згідно [11] така передаточна функція має вигляд:

$$W(S) = K(1-\tau_1 S)\left[(\tau_2 S+1)\cdot(\tau_3 S+1)\right]^{-1}, \qquad (1)$$

де K – коефіцієнт передачі; τ_i – і-та постійна часу; S – комплексна змінна.

Такій передаточній функції буде відповідати вираз для амплітудно-частотної характеристики газогенератора

$$A(\omega) = K\left[(1+\omega^2\tau_1^2)\left[(1+\omega^2\tau_2^2)(1+\omega^2\tau_3^2)\right]^{-1}\right]^{0,5}, \qquad (2)$$

де ω – кругова частота.

Із (2) витікає, що для трьох частот ω_i мають місце наступні співвідношення

$$\begin{aligned}
&\omega_1^{-1}\left[A^2(\omega_1)\left[\omega_1^4\cdot\tau_2^2\tau_3^2+\omega_1^2(\tau_2^2+\tau_3^2)+1\right]-K^2\right]=\\
&=\omega_2^{-1}\left[A^2(\omega_2)\left[\omega_2^4\cdot\tau_2^2\tau_3^2+\omega_2^2(\tau_2^2+\tau_3^2)+1\right]-K^2\right]=\\
&=\omega_3^{-1}\left[A^2(\omega_3)\left[\omega_3^4\cdot\tau_2^2\tau_3^2+\omega_3^2(\tau_2^2+\tau_3^2)+1\right]-K^2\right]. \qquad (3)
\end{aligned}$$

Якщо ввести позначення

$$\begin{aligned}
&B_1=\left[A^2(\omega_1)-K^2\right]\left[\omega_1^2(A^2(\omega_1)-A^2(\omega_2))\right]^{-1};\\
&B_2=\left[A^2(\omega_2)-K^2\right]\left[\omega_2^2(A^2(\omega_1)-A^2(\omega_2))\right]^{-1};\\
&B_3=\left[A^2(\omega_2)\omega_2^2-A^2(\omega_3)\omega_3^2\right]\left[A^2(\omega_2)-A^2(\omega_3)\right]^{-1};\\
&D_1=\left[A^2(\omega_2)-K^2\right]\left[\omega_2^2(A^2(\omega_2)-A^2(\omega_3))\right]^{-1}; \qquad (4)\\
&D_2=\left[A^2(\omega_3)-K^2\right]\left[\omega_3^2(A^2(\omega_2)-A^2(\omega_3))\right]^{-1};\\
&D_3=\left[A^2(\omega_1)\omega_1^2-A^2(\omega_2)\omega_2^2\right]\left[A^2(\omega_1)-A^2(\omega_2)\right]^{-1},
\end{aligned}$$

то для постійних часу τ_i, $i=\overline{1,3}$ будуть мати наступні вирази

$$\tau_2=\left[\left[-C_2+(C_2^2-4C_1C_2)^{0,5}\right](2C_1)^{-1}\right]^{0,5}, \qquad (5)$$

де

$$\begin{aligned}
C_1&=B_3-D_3;\\
C_2&=B_3(B_1-B_2)-D_3(D_1-D_2); \qquad (6)\\
C_3&=B_1-B_2-D_1+D_2;
\end{aligned}$$

$$\tau_1=\left[(\tau_2^2+B_1-B_2)(1+D_3\tau_2^2)^{-1}\right]^{0,5}; \qquad (7)$$

$$\tau_3=\left[\left[A(\omega_3)\begin{bmatrix}\omega_3^4\cdot\tau_2^2\tau_3^2+\\+\omega_3^2(\tau_2^2+\tau_3^2)+1\end{bmatrix}-K^2\right](K\omega_3^2)^{-1}\right]^{0,5}. \qquad (8)$$

З аналізу виразів (4)÷(8) витікає, що для визначення значення постійних часу τ_i, $i=\overline{1,3}$ необхідна інформація стосовно величини коефіцієнта передачі К та значень амплітудно-частотної характеристики газогенератора $A(\omega_i)$ на апріорі заданих частотах ω_i, $i=\overline{1,3}$.

Для визначення значень K та $A(\omega_i)$ можуть бути використані традиційні методи [12], але для газогенератора доцільно використовувати підхід,

який базується на використанні інформації, що несе перехідна функція такого газогенератора [13]. У цьому випадку амплітудно–частотна характеристика газогенератора описується виразом

$$A(\omega) = F_0^{-1}\left[\left[\sum_{k=0}^{n}\Delta_k \cos[\omega(K+0{,}5)\Delta t]\right]^2 + \left[\sum_{k=0}^{n}\Delta_k \cos[\omega(K+0{,}5)\Delta t]\right]^2\right]^{0{,}5}, \quad (9)$$

де F_0 – площа вихідного отвору газогенератора (F_0 = const); Δt – інтервал часу між $k+1-м$ та $k-м$ моментами, в які здійснюється вимірювання $k+1-го$ та $k-го$ значень тиску у порожнині газогенератора; Δ_k – величина приросту тиску

$$\Delta_k = P_{k+1} - P_k, \; k = \overline{0,n}. \quad (10)$$

Величина інтервалу часу Δt визначається згідно до теореми Котельнікова-Найквіста-Шеннона [14], тобто

$$\Delta t = 0{,}5 f_m^{-1}, \quad (11)$$

де f_m – максимальне значення частоти спектру функції $P(t)$, яка описує тиск у порожнині газогенератора.

Значення коефіцієнта передачі K визначається із (9) при $\omega = 0$, тобто

$$K = A(0) = F_0^{-1}\sum_{k=0}^{n}\Delta_k. \quad (12)$$

При визначенні ймовірності відмови газогенератора Q за його відмову приймається вихід за межі допускової зони значення хоча б однієї постійної часу τ_i. Газогенератор вважається працездатним, якщо для всіх постійних часу τ_i, $i = \overline{1,3}$ виконуються умови

$$\tau_{0_i} + \varepsilon_i < \tau_i < \tau_{0_i} - \varepsilon_i, i = \overline{1,3}, \quad (13)$$

де τ_{0_i} – номінальне значення τ_i постійної часу; ε_i – половина допускової зони для постійної часу τ_i.

Ймовірність виходу за межі допускової зони значення постійної часу τ_i визначається виразом [15]

$$q_i = 1 - 0{,}5\left[\Phi\left(\frac{\tau_{0i} - \tau_i + \varepsilon_i}{\sqrt{2}\sigma_i}\right) - \Phi\left(\frac{\tau_{0i} - \tau_i - \varepsilon_i}{\sqrt{2}\sigma_i}\right)\right], \quad (14)$$

де $\Phi(\bullet)$ – функція нормованого розподілу; σ_i – середньоквадратична похибка визначення величини τ_i.

Ймовірність відмови газогенератора буде визначатися виразом

$$Q = \prod_{i=1}^{3} q_i + q_1(1-q_2)(1-q_3) + q_2(1-q_1)(1-q_3) + q_3(1-q_1)(1-q_2) + q_1q_2(1-q_3) + q_1q_3(1-q_2) + q_2q_3(1-q_1) = \prod_{i=1}^{3} q_i - q_1q_3 - q_1q_2 - q_2q_3 + q_1 + q_2 + q_3. \quad (15)$$

Якщо розглянути випадок, при якому має місце $q_i = q$, то вираз (15) трансформується наступним чином

$$Q = q^3 - 3q^2 + 3q, \quad (16)$$

що за умови $q << 1{,}0$ приймає вигляд

$$Q = 3q. \quad (17)$$

Для типових параметрів газогенератора із гідрореагуючим складом величини його постійних часу лежать в діапазоні $(6 \div 14)10^{-3}$ с [3]. Для випадку, коли $\tau_{0_i} = 10^{-2}$ с; $\varepsilon_i = 0{,}1\,\tau_{0i}$; $\tau_i = 0{,}97 \cdot 10^{-2}$ с; $\sigma_i = 2{,}5 \cdot 10^{-4}$ с, ймовірність виходу значень постійних часу τ_i за межі допускової зони $\tau_{0_i} \pm \varepsilon_i$ буде дорівнювати згідно (14) $7{,}4 \cdot 10^{-5}$. Ймовірність відмови газогенератора при цьому буде складати $2{,}2 \cdot 10^{-4}$.

Визначення ймовірності відмови газогенератора системи зберігання та подачі водню зводиться до виконання послідовності наступних процедур:

- площу вихідного отвору F(t) газогенератора змінюють у відповідності із виразом

$$F(t) = F_0 \cdot 1(t), \quad (18)$$

де $1(\bullet)$ – функція Хевісайда;

- у кожний із моментів часу, які відстоять один від одного на величину Δt, яка визначається

згідно виразу (11), здійснюють вимірювання приросту тиску Δ_k в порожнині газогенератора (згідно виразу (10));

- для трьох апріорі заданих частот ω_i за допомогою виразу (9) визначають три значення амплітудно-частотної характеристики $A(\omega_i)$ газогенератора, а із використанням виразу (12) визначають значення його коефіцієнта передачі K;
- користуючись виразами (4)÷(8), визначають значення постійних часу τ_i газогенератора;
- для кожної постійної часу $\tau_i = i = \overline{1,3}$ за допомогою виразу (16) визначають ймовірність виходу значення і-ої постійної часу за межі допускової зони, яка задається апріорі величинами параметра ε_i (величини параметра σ_i визначаються при визначенні значень постійних часу τ_i);
- із використанням виразу (15) визначається значення ймовірності відмови газогенератора системи зберігання та подачі водню.

Висновки

Для оцінки якості технічного стану основного елемента системи зберігання та подачі водню – газогенератора створено його математичне забезпечення, яке представлено у вигляді функціональних залежностей між узагальненими параметрами газогенератора – постійними часу та його динамічними і статичними характеристиками.

Представлені моделі для визначення властивостей газогенератора у динамічному режимі роботи – амплітудно-частотна характеристика та у статистичному режимі роботи – коефіцієнт передачі, які є елементами функціональних залежностей для визначення його постійних часу.

Одержання оцінки якості роботи газогенератора системи зберігання та подачі водню здійснюється за результатами контролю його технічного стану із використанням показника надійності – ймовірності відмови, алгоритм визначення якої наведено у словесній формі.

Література

1. *Кривцова В.И. Неисчерпаемая энергия. Кн.4. Ветро-водородная энергетика / В.И. Кривцова, А.М. Олейников, А.П. Яковлев. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2007. – 606 с.*
2. *Sorensen B. Renewables and hydrogen energy technologies for sustainable development // International Journal of Energy Research. – 2008. – 32. – PP. 367–368. DOI: https://doi.org/10.1002/er.1370*
3. *Абрамов Ю.О. Системы хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для бортовых энергетических установок / Абрамов Ю.О., Кривцова В.И., Соловей В.В. – Х., 2002. – 277 с.*
4. *Дмитриев А.Л. Водородная заправочная станция на основе установки получения водородагидротермальным методом окисления промышленных порошков алюминия / Дмитриев А.Л., Иконников В.К. // Альтернативная энергетика и экология. – 2017. – № 10–11. – С. 75–85. DOI: https://doi.org/10.15518/isjaee.2017.10-12.075-085*
5. *Абрамов Ю.А. Модели и характеристики генераторов водорода на основе гидрореагирующих составов / Ю.А. Абрамов, В.Г. Борисенко, В.И. Кривцова. – Х. : НУГЗУ, 2018. – 72 с.*
6. *Li Zh. Mitigation measures for intended hydrogen release from thermally activated pressure relief device of onboard storage / Li Zh., Sun K. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – 45 (15). – PP. 9260–9267. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.084*
7. *Abramov Yu. Design of control algorithm over technical condition of hydrogen generators based on hydro-reactive compositions / Yu. Abramov, V. Borisenko, V. Krivtsova // Eastern-European Journal of Enterprisse Technologies, Industry Control Systems, 2017, 5 (8–89), PP. 16–21. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112200*
8. *Nanthagopal K. Hydrogen Enriched Compressed Natural Gas-A Futuristic Fuel for Internal Combustion Engines / Nanthagopal K., Subbarao R., Elango T., Baskar P., Annamalai K. // Thermal Sci. – 2011. – 15. – PP. 1145–1154.*
9. *Абрамов Ю.О. Алгоритм контролю технічного стану газогенераторів систем зберігання та подачі водню в контексті їх пожежної профілактики / Ю.О. Абрамов, В.І. Кривцова, А.О. Михайлюк // Комунальне господарство міст. Сер.: Технічні науки та архітектура. – Вип. 1(161). – С. 284–289. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-284-289*
10. *Abramov Yu. The synthesis of control algorithm over a technical condition of the hydrogen generators based on hydro-reactive compositions / Yu. Abramov, A. Basmanov, V. Krivtsova, A. Mikhayluk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Industry Control Systems. – 2018. – 3 (2–93). – PP. 54–60. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131020*
11. *Абрамов Ю.А. Формализация описания двухфазных процессов генерации водородсодержащего рабочего тела в энергоустановках / Ю.А. Абрамов, В.И. Кривцова // Вестник ХГАДТУ : Сб. научн. тр. – Харьков : ХГАДТУ, 2000. – Вып. 12–13. – С. 68–71.*
12. *Власов-Власюк О.Б. Экспериментальные методы в актоматике / О.Б. Власов-Власюк. – М. : Машиностроение, 1969. – 412 с.*
13. *Спосіб визначення динамічних характеристик газогенератора системи зберігання та подачі водню : Пат. 109686 Україна: МПК G018B3/06 / Абрамов Ю.О., Борисенко В.Г., Кривцова В.І., заяв. та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – №201603531; заяв. 4.04.16; опубл. 25.08.16, Бюл. № 16.*
14. *Биккенин Р.Р. Теория электрической связи / Р.Р. Биккенин, М.Н. Чесноков. – М. : Академия, 2010. – 329 с.*
15. *Азарсков В.Н. Надежность систем управления и автоматики / В.Н. Азарсков, В.П. Стрельников. – К. : НАУ, 2004. – 164 с.*

References

1. Krivtsova, V.I., Olejnikov, A.M., Yakovlev, A.P. (2007) *Inexhaustible energy. Book 4. Wind-hydrogen energy.* National Aerospace University "KhAI", Kharkiv [in Russian]
2. Sorensen, B. (2008) Renewables and hydrogen energy technologies for sustainable development. *International Journal of Energy Research*, 32 (5), 367–368. https://doi.org/10.1002/er.1370

3. Abramov, Y.O., Krivtsova, V.I., Solovey, V.V. (2002) *Hydrogen storage and supply systems based on solids for onboard power plants*. Kharkiv [in Russian]
4. Dmitriev, A.L., Ikonnikov, V.K. (2017) Hydrogen fueling station using hydrogen generation by aluminum powder hydrothermal oxidation. *Alternative Energy and Ecology*, 10–12, 75–85. [in Russian] DOI: https://doi.org/10.15518/isjaee.2017.10-12.075-085
5. Abramov, Yu.A., Borisenko, V.G., Krivtsova, V.I. (2018) *Models and characteristics of hydrogen generators based on hydroreactive compositions*. NUGZU, Kharkiv [in Russian]
6. Li, Zh., & Sun, K. (2020) Mitigation measures for intended hydrogen release from thermally activated pressure relief device of onboard storage. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (15), 9260–9267. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.084
7. Abramov, Yu., Borisenko, V., Krivtsova, V. (2017) Design of control algorithm over technical condition of hydrogen generators based on hydro-reactive compositions. *Eastern-European Journal of Enterprises Technologies, Industry Control Systems*, 5 (8–89), 16–21. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112200
8. Nanthagopal, K., Subbarao, R., Elango, T., Baskar, P., Annamalai, K. (2011) Hydrogen Enriched Compressed Natural Gas-A Futuristic Fuel for Internal Combustion Engines. *Thermal Sci*, 15, 1145–1154.
9. Abramov, Y., Kryvtsova, V., Mikhailyuk, A. (2021) Technical condition control algorithm gas generators of storage systems and hydrogen supply in the context of their fire prevention. *Municipal economy of cities*, vol. 1 (161), 284–289. [in Ukrainian] DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-284-289
10. Abramov, Yu., Basmanov, A., Krivtsova, V., Mikhayluk, A. (2018) The synthesis of control algorithm over a technical condition of the hydrogen generators based on hydro-reactive compositions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Industry Control Systems, 3 (2–93), 54–60. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131020
11. Abramov, Yu.A., Krivtsova, V.I. (2000) Formalization of the description of two-phase processes of generation of hydrogen-containing working body in power plants. *Vestnik KhGADTU*, 12–13, 68–71 [in Russian]
12. Vlasov-Vlasyuk, O.B. (1969) *Experimental methods in actomatics*. Mashinostroenie, Moscow [in Russian]
13. Abramov, Y.O., Borisenko, V.G., Kryvtsova, V.I. Pat. 109686 Ukraine: IPC G018V3/06 *Method of determining the dynamic characteristics of the gas generator of the hydrogen storage and supply system* (2016) Bulletin No 16.
14. Bikkenin, R.R., Chesnokov, M.N. (2010) *Theory of electrical communication*. Academy, Moscow [in Russian]
15. Azarskov, V.N., Strelnikov, V.P. (2004) *Reliability of control and automation systems*. NAU, Kyiv [in Russian]

Рецензент: д. т. н., професор, начальник кафедри автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій Р.І. Шевченко, Національний університет цивільного захисту України, Україна.

Автор: АБРАМОВ Юрій Олексійович
д. т. н., професор, г. н. с. науково-дослідного центру
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – abramov121146@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7901-3768

Автор: КРИВЦОВА Валентина Іванівна
д. т. н., професор, професор кафедри фізико-математичних дисциплін
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – krivtsovav53@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8254-5594

Автор: МИХАЙЛЮК Андрій Олександрович
к. т. н., с. н. с., начальник докторантури, ад`юнктури
Національний університет цивільного захисту України
E mail – mihayluk.nuczu@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4116-164X

ALGORITHM FOR DETERMINATION OF RELIABILITY INDICATOR OF GAS GENERATOR OF HYDROGEN STORAGE AND SUPPLY SYSTEM

Y. Abramov, V. Kryvtsova, A. Mikhailyuk
National University of Civil Defense of Ukraine, Ukraine

An algorithm for determining one of the indicators of reliability of the main element of the hydrogen storage and supply system – a gas generator has been developed. Such an algorithm is an integral part of the general algorithm to ensure the required level of fire safety of hydrogen storage and supply systems. The algorithm involves the implementation of several stages. At the first stage, using the expression for the amplitude-frequency characteristic of the gas generator, the functional dependences for its time constants are obtained. These functional dependencies include the values of the transmission coefficient and amplitude-frequency characteristics, which are determined at three a priori set values of frequency. In the second stage, the amplitude-frequency characteristic of the gas generator is determined. For this purpose, an array of data is used, which characterizes the reaction of the gas generator to the test effect in the form of an abrupt change in the area of its outlet. The amplitude-frequency characteristic of the gas generator is determined numerically, and its parameters are the increase in the pressure in the cavity of the gas generator and the time interval at which this increase is determined. The Kotelnikov-Nyquist-Shannon theorem is used to determine this time interval. At the third stage, the probability of the values of the time constants of the gas generator outside the tolerance zone is determined. For this purpose, models of gas generator time constants and their metrological characteristics are used. In the fourth stage, the probability of failure of the gas generator is determined, for which the information of the previous stage is used. At the last stage, the algorithm for determining the probability of failure of the gas generator of the storage and supply system of hydrogen, which is given in verbal form.

Keywords: *hydrogen storage and supply system, gas generator, time constant, amplitude-frequency characteristic, gas generator failure probability.*