

УДК 629.735.017

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/0203-377129201562648>Нечипоренко О. М.¹, доцент, Будім А. О.², бакалавр**МЕТОД АНАЛІЗУ БЕЗВІДМОВНОСТІ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНИХ СИГНАЛІВ НА БАЗІ ЧАСТОТНИХ ДАТЧИКІВ ТИСКУ**

En The system of air signals (SAS) is intended for the issue of main aerobatic information on indicators of instrumentation in the cockpit and on-board systems.

Under the reliability of SAS we understand property systems remain operational continuously for a certain time or a certain operating time. This feature is especially important for objects, refusal to work is related to danger to life. In many technical systems determining parameter (DP), which dominates as the "weakest link" in terms of parametric reliability, that is a quantitative measure of quality, has the ability to change over time and beyond the permissible limits. In the SAS at the frequency of air pressure sensors DP is such a frequency output sensors.

The relevance of the study is that the method allows to find time to failure SAS, which will allow for practice time to prevent rejection, as well as control the frequency-dependent system, spending adjustments or changing operating conditions of the system.

The goal of research is to develop a method for the analysis of parametric reliability of SAS frequency pressure sensors to improve the economic efficiency of the known methods of reliability analysis. The subject is research a system of air signals based on frequency pressure sensors.

The novelty of the method is that instead of the number of the objects used for the first time the number of intervals of one research facility, which greatly improves the cost-effectiveness of the method.

Practical application of the method is that having information about the real meaning of time to reach DP limit the design phase of SAS frequency pressure sensors can determine experimentally and analytically calculate parametric indicators of reliability of the system, that make a reasonable forecast of future performance.

Ru Разработанный метод позволит найти время до отказа системы воздушных сигналов (СВС), что позволит на практике вовремя предупредить отказ, а также управлять состоянием частотно-зависимой системы, проводя подрегулирования или меняя рабочие режимы такой системы. Достоинство заключается в том, что вместо количества исследуемых объектов впервые используется количество интервалов исследования одного объекта, что значительно повышает экономическую эффективность метода.

Имея информацию о реальном значении времени достижения определяемого параметра порогового значения на этапе проектирования СВС с частотными датчиками давления, можно экспериментально определять и анали-

¹ Національний технічний університет України "КПІ",
кафедра приладів і систем керування літальними апаратами

² Національний технічний університет України "КПІ",
кафедра приладів і систем керування літальними апаратами

тически рассчитать показатели параметрической надежности системы, то есть сделать обоснованный прогноз о работоспособности в будущем.

Вступ

Система повітряних сигналів (СПС) призначена для видачі основної пілотажної інформації на показники контрольно-вимірювальних приладів у кабіні літака і на бортові системи [1].

Під безвідмовністю СПС розуміють [2] властивість системи зберігати працездатність безперервно протягом деякого часу або деякого наробітку. Ця властивість особливо важлива для об'єктів, відмова в роботі яких пов'язана з небезпекою для життя людей. У багатьох технічних системах визначальний параметр (ВП), який домінує як «найслабша ланка» [3] з точки зору параметричної безвідмовності, тобто є кількісною мірою її якості, має властивість з часом змінюватися і виходити за допустимі межі [4], [5]. В СПС на базі частотних датчиків повітряного тиску таким ВП є частота вихідного сигналу датчиків.

Оскільки «найслабшою ланкою» вимірювальної системи є параметрична безвідмовність первинних вимірювальних перетворювачів, необхідно і достатньо зробити аналіз безвідмовності частотних датчиків тиску (ЧДТ), що входять до складу СПС.

Частотний датчик тиску з циліндричним резонатором, який входить до складу системи повітряних сигналів літака, представляє собою автоколивальну систему. При проектуванні автоколивального контуру частотно-залежної системи «механічний резонатор – система збудження коливальних частотного датчика та аналізі його безвідмовності можна використати запропонований в [4, 5] критерій параметричної надійності робастно стійких систем автоматичного керування, розглядаючи у якості визначального параметра частоту власних коливальних циліндра механічного резонатора і використовуючи лінійну фізично-ймовірнісну модель зміни товщини стінки у часі за рахунок її фізичної деградації.

Розробка методу аналізу безвідмовності таких систем є актуальною з точки зору підвищення надійності та якості технічних об'єктів та систем [2].

Новизна методу полягає в тому, що замість кількості досліджуваних об'єктів (або систем) вперше використовується кількість інтервалів дослідження одного об'єкта або системи, що значно підвищує економічну ефективність методу.

Постановка задачі

Розробка методу аналізу параметричної безвідмовності СПС з частотними датчиками тиску для підвищення економічної ефективності відомих методів аналізу надійності.

Метод аналізу безвідмовності частотного датчика тиску системи повітряних сигналів літака

При використанні методу [5] для ВП об'єкта встановлюється деяке граничне (критичне) значення $A_{гр}$ (рис. 1), у разі досягнення якого порушується працездатність об'єкта. Випадковий час досягнення ВП $A(t)$ значення $A_{гр}$ є часом безвідмовної роботи об'єкта, його знаходять за формулою $t_{гр} = \frac{A_{гр} - A_0}{\Psi}$, де A_0 – номінальне значення ВП, Ψ – швидкість зміни ВП у часі за рахунок фізичної деградації об'єкта. Для аналізу параметричної безвідмовності об'єкта цим методом на дослідження одночасно встановлюється j таких об'єктів, а моменти виходу ВП кожного об'єкта за допуск фіксуються як моменти $t_{грj}$ втрати працездатності j -им об'єктом, а процес фізичної деградації об'єкта апроксимують полюсною випадковою функцією [5], за якою визначаються кількісні показники безвідмовності об'єкта.

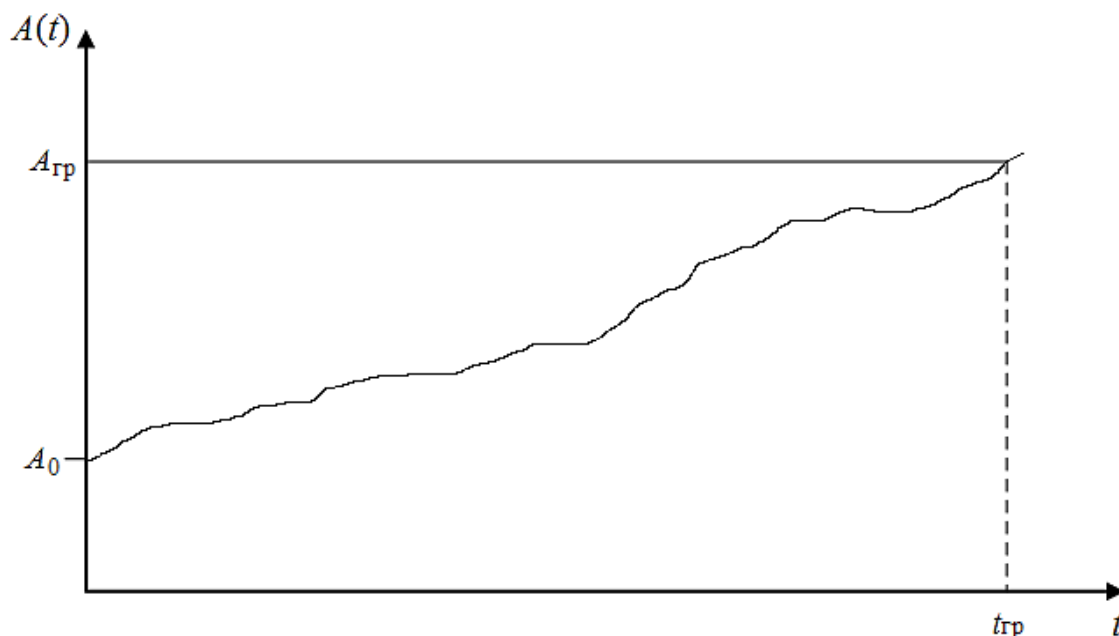


Рис. 1. Випадкова функція $A(t)$ визначального параметра СПС

Аналіз параметрів СПС показав, що ВП СПС є вихідна частота ЧДТ. Оскільки не завжди є можливість провести такий же дослід з j частотними датчиками тиску, де j – кількість досліджуваних ЧДТ, щоб встановити їх час наробітку до відмови, скористаємось новим методом, який дозволить експериментально визначити полюсну випадкову функцію $A(t)$ і статистику оцінку часу $t_{гр}$, досліджуючи лише один датчик.

Систематизована сукупність кроків (або алгоритм), які потрібно здійснити за цим методом:

- поставити об'єкт дослідження, а саме ЧДТ, на наробіток в нормальних умовах;
- знімати змінення значень вихідної частоти $A(t)$ у часі;

- зафіксувати момент виходу частоти $A(t)$ за межі допуску $t_{гр}$, який слугує мірою безвідмовної роботи ЧДТ;
- повторити виконання пп. 1-3 для наступних інтервалів, що дорівнюють $\approx jt_{гр}$, де j – кількість експериментів (рис. 2);

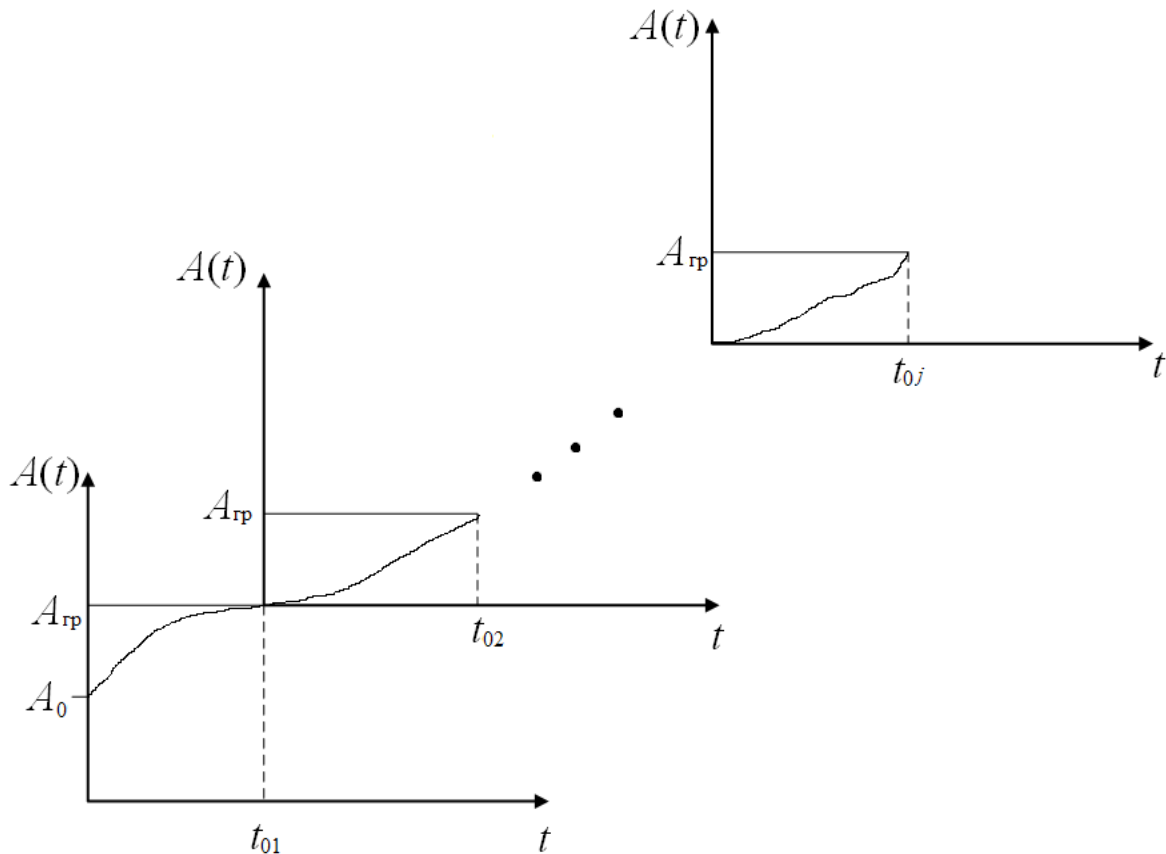


Рис. 2. Графіки зміни визначального параметру СПС на j -их проміжках наробітку

- отримати полюсну випадкову функцію $A(t)$ (рис. 3), перемістивши кожний j -ий графік в початок координат;
- за отриманою полюсною функцією $A(t)$ визначити кількісні показники параметричної безвідмовності об'єкта за відомим методом [5], де замість кількості j досліджуваних датчиків використати кількість j досліджуваних інтервалів (проміжків) наробітку ЧДТ.

Тобто характерною рисою представленого методу аналізу безвідмовності, яка вирізняє його від відомого методу, є заміна кількості досліджуваних на безвідмовність об'єктів кількістю досліджуваних інтервалів часу (наробітку до параметричної відмови).

Аналіз отриманої полюсної функції показав, що значення випадкової швидкості зміни ВП обмежені нижньою ψ_n і верхньою ψ_b межами:

$$\Psi \in (\psi_n, \psi_b) \text{ за } \psi_n > 0, \psi_b > 0.$$

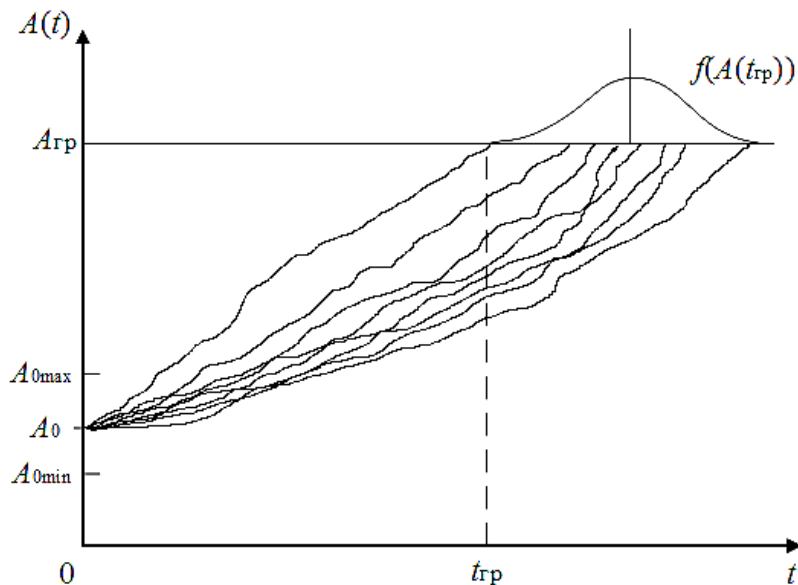


Рис. 3. Полюсна випадкова функція $A(t)$ визначального параметра СПС, отримана переміщенням в початок координат j -их графіків

За результатами експериментальних досліджень знайдено, що аргумент Ψ має усічений нормальний розподіл, щільність якого має вигляд:

$$f(\Psi) = cf(\psi) = \frac{c}{S_\psi \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\Psi - m_\psi)^2}{2S_\psi^2} \right\},$$

де $f(\psi)$ – щільність нормального (не січеного) розподілу Гауса;

c – нормувальний множник, який обумовлений тим, щоб площа під кривою щільності розподілу дорівнювала одиниці, тобто $c \int_{\Psi_2}^{\Psi_1} f(\psi) d\psi = 1$.

За допомогою підстановки $z = \frac{\Psi - m_\psi}{S_\psi}$, де m_ψ , S_ψ – відповідно математичне сподівання та середнє квадратичне відхилення неусіченого нормального розподілу швидкості зміни ВП, після перетворення отримуємо

$$c = \frac{1}{\Phi(z_2) - \Phi(z_1)}, \quad (1)$$

де $\Phi(z)$ – нормована функція Лапласа, $z_1 = \frac{\Psi_n - m_\psi}{S_\psi}$; $z_2 = \frac{\Psi_b - m_\psi}{S_\psi}$.

Щільність розподілу часу досягнення ВП значення $A_{гр}$ з усіченим нормальним розподілом швидкості Ψ з використанням віялових моделей з нульовим початковим розсіюванням [2] має вигляд:

$$f(t) = f[A(t)] = \frac{c\beta}{t^2\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\beta}{t} - \alpha\right)^2\right\} \quad \text{за } t_1 < t < t_2, \quad (2)$$

де t_1, t_2 – межі зміни часу $\{t\}$ виходу ВП за значення $A_{\text{гр}}$,

$$t_1 = \frac{A_{\text{гр}} - A_0}{\Psi_{\text{В}}}, \quad t_2 = \frac{A_{\text{гр}} - A_0}{\Psi_{\text{Н}}}, \quad \text{щільність розподілу } f[A(t)] \text{ за формулою (2)}$$

відповідає альфа-розподілу, параметри якого дорівнюють $\beta = \frac{A_{\text{гр}} - A_0}{S_{\Psi}}$;

$\alpha = \frac{m_{\Psi}}{S_{\Psi}}$, а нормувальний множник c можна знайти з форму-

лою (1); при цьому для альфа-розподілу

$$z_1 = \frac{\beta}{t_2} - \alpha; \quad z_2 = \frac{\beta}{t_1} - \alpha.$$

Достовірність (валідність) запропонованого методу підтверджується тим, що в досліджуваних об'єктах, а саме, СПС з частотними датчиками тиску, використовуються ідентичні елементи, які мають жорсткі допуски на параметри, і які відбраковуються на стадії їх виготовлення і вихідного контролю. Тому, на практиці, дослідження і аналіз параметричної безвідмовності групи n ідентичних елементів високої собівартості одночасно за рахунок фізичної деградації (зношування, втоми, забруднення тощо) доцільно замінити експериментальним дослідженням процесу фізичної деградації параметру одного такого елемента в n періодів його функціонування.

Практичне застосування

Маючи інформацію про реальне значення часу досягнення ВП граничного значення на етапі проектування СПС з частотними датчиками тиску, можна експериментально визначати і аналітично розрахувати показники параметричної надійності системи, тобто зробити обґрунтований прогноз про працездатність у майбутньому. Це дасть змогу на практиці вчасно попередити відмови, а також керувати станом частотно-залежної системи, проводячи підрегулювання або змінюючи робочі режими такої системи.

Висновки

Розроблено новий метод аналізу параметричної безвідмовності системи повітряних сигналів – метод експериментального дослідження визначального параметру цієї системи, що базується на критерії її параметричної стійкості. Створений метод дозволяє встановити кількісну міру безвідмовності – щільність розподілу параметричних відмов системи, викорис-

товуючи лише один елемент (у випадку СПС – частотний датчик тиску), що значно підвищує економічну ефективність методу.

Список використаної літератури

1. *Клюев Г. И.* Авиационные приборы и системы: Учебное пособие / Г. И. Клюев, Н. Н. Макаров, В. М. Солдаткин; под ред. В. А. Мишина. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 343 с. [Текст] – ISBN 5-89146-217-6.
2. *Шубін Р. А.* Надійність технічних систем і техногенний ризик: навчальний посібник / Р.А. Шубін. – Тамбов: Вид-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с. – ISBN 978-5-8265-1086-5.
3. *Нечипоренко О. М.* Основи надійності літальних апаратів. Навчальний посібник з грифом МОН. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 240 с. - Бібліогр.: с. 235-239. – 300 пр. – ISBN 978-966-622-502-6.
4. *Нечипоренко О. М.* Критерій параметричної надійності робастно стійких систем автоматичного керування / О. М. Нечипоренко // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. – К.: Век, – 2011. – № 54. – С. 76-82.
5. *Nechyporenko O. M.* The method of analysis of reliability of frequency pressure sensor for systems of air signals of aircraft / Electronics and Control Systems, 2014. – № 3(41). – 41-46 pages. – ISSN 1990-5548.