

УДК 629.735.05:681.178:519.676(045)

*СУКАЧ О.М., аспірант Національного авіаційного університету*

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ "ПОВІТРЯНЕ СУДНО–ЕКІПАЖ–СЕРЕДОВИЩЕ"**

*Розглянуто методи оцінки якості функціонування об'єкта контролю. Визначені можливі проблеми та запропоновані методи підвищення вірогідності результатів в автоматизованих системах контролю польотів.*

*Ключові слова:* об'єкт контролю, методи оцінки якості, автоматизовані системи контролю польотів.

Технічний стан об'єкта – стан, який характеризується в певний момент часу при певних умовах зовнішнього середовища значеннями параметрів, визначеними в технічній документації на об'єкт [5]. Якщо об'єкт задовольняє всім вимогам, він визнається "придатним", в іншому випадку – "непридатним". Помилки при визначенні стану технологічного комплексу (ТК) "ПС–екіпаж–середовище" (ПС – повітряне судно) суттєво впливають на оцінку рівня безпеки, регулярність та економічність польотів. Тому вірогідність результатів контролю є важливим показником при оцінці якості функціонування технологічного комплексу "ПС–екіпаж–середовище" та побудові системи управління безпекою польотів [3, 4] експлуатанта ПС.

### **Показники вірогідності**

Про змін якості функціонування об'єкта контролю (ОК) судять по значенням діагностичних (тих, що контролюються) параметрів за результатами аналізу польотних даних, які дозволяють визначити вихід параметрів за допустимі межі. В результаті чого отримують оцінку стану ОК. Таким чином, область можливих станів та оцінок об'єкта (А) може бути представлена як сполучення підобластей:

а) станів "придатний" (П) та "непридатний" ( $\bar{П}$ ):  $A = П \text{ I } \bar{П}$ ;

б) оцінок "придатний" (ОП) и "непридатний" ( $О\bar{П}$ ):  $A = ОП \text{ I } О\bar{П}$ .

Вірогідність контролю (визначення оцінки) – це міра відповідності результатів контролю дійсному стану об'єкта контролю або ймовірність прийняття вірного рішення.

$$D = 1 - P_n = 1 - (a + b),$$

де  $P_n$  – ймовірність помилки;  $a$  – помилка I-го роду (ймовірність того, що "придатний" об'єкт визнаний "непридатним");  $b$  – помилка II-го роду (ймовірність того, що "непридатний" об'єкт визнаний "придатним").

Допустимі значення помилок I та II роду можуть бути задані в залежності від задачі, яка вирішується. Помилки I роду можуть бути виявлені шляхом експертного аналізу, помилки II роду, як правило – "річ у собі". При визначенні стану ОК можливі варіанти показані на рис. 1.

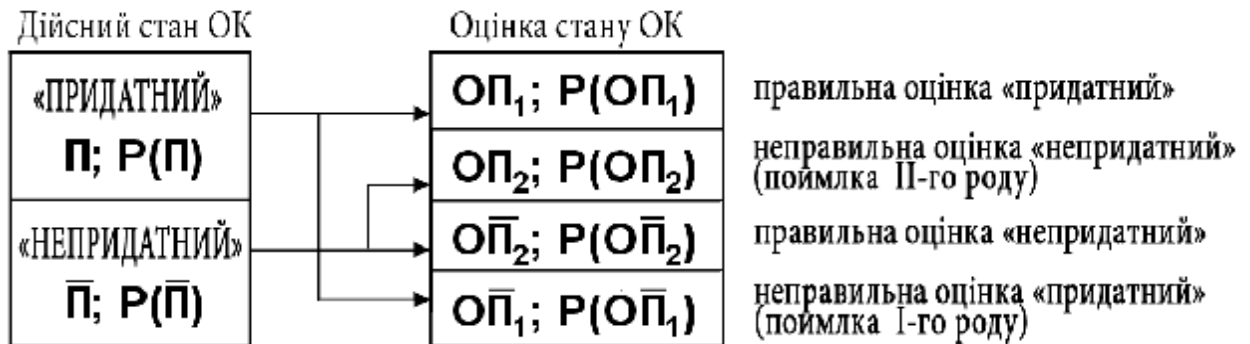


Рис. 1. Можливі варіанти станів та оцінок ОК

Вірогідність оцінки стану ОК залежить від вибраної діагностичної моделі та похибок при її визначенні. Причинами виникнення похибок є: недосконалість діагностичної моделі (методична похибка) та технічних засобів (інструментальна похибка), які застосовуються при вимірюванні.

При оцінці якості функціонування ТК "ПС–екіпаж–середовище" припустимо, що діагностична модель складена вірно та кількість параметрів, які контролюються, дозволяє у повній мірі реалізувати складену діагностичну модель. Тому будемо вважати, що методична складова похибки відсутня, а визначення стану ОК будемо розглядати відносно похибок технічних засобів вимірювання. Інструментальна складова вірогідності контролю в значній мірі залежить від характеристик точності засобів контролю та, як правило, має власні методичні компоненти.

Через те, що похибка є випадковою величиною, значення оцінки стану ОК також є величиною випадковою. Позначимо через  $h$  – похибку контролю:  $h = e - \bar{e}$ , де:  $e$  – дійсний стан;  $\bar{e}$  – оцінка стану ОК.

Вважаємо, що випадкова величина  $h$  розподілена по нормальному закону [6] з щільністю розподілу  $f(h)$ , параметри якого, як правило, відомі із паспортних даних засобу контролю, який градується за "законом  $2s$ ". Позначимо  $X_n$  та  $X_v$  – нижня та верхня границі допуску параметра, що контролюється (рис. 2). Якщо спостереження параметрів, які характеризують стан об'єкта, знаходяться далеко від меж допуску, то прийняття рішення не викликає труднощів. Головна практична складність використання розподілу  $f(h)$  в розмежуванні зон "придатний–непридатний", тобто на межах допуску параметрів, які контролюються.

Якщо задані гранично допустимі значення помилок I та II роду ( $a_{don}, b_{don}$ ), то у припущенні, що похибка розподілена по нормальному закону [6], використовуючи

таблиці функції нормального розподілу  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  [7], можна розрахувати

"зону невизначеність"  $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$  (рис. 2):

$$1 - 2a_{\text{дон}} = 2\Phi\left(\frac{\Delta 1}{s_h}\right), \quad \Phi\left(\frac{\Delta 1}{s_h}\right) = 0,5 - a_{\text{дон}};$$

$$1 - 2b_{\text{дон}} = 2\Phi\left(\frac{\Delta 2}{s_h}\right), \quad \Phi\left(\frac{\Delta 2}{s_h}\right) = 0,5 - b_{\text{дон}}.$$



Рис. 2. Зони невизначеності на межах допуску (помилки I і II роду):  
 $X_n, X_v$  – граничні значення (нижнє і верхнє) параметрів, які контролюються;  
 $X_1, X_2, X_3, X_4$  – дійсні значення параметрів, які контролюються;  
 $\eta, f(\eta)$  – похибка контролю та щільність її розподілу;  
 $a_{\text{дон}}, b_{\text{дон}}$  – гранично допустимі значення помилок I та II роду.

*Приклад:*

Розрахуємо "зону невизначеності" на межі допуску для параметра "висота барометрична", для якого середнє квадратичне відхилення похибки  $s = 30\text{ м}$  та задані допустимі значення помилок I і II роду  $a_{\text{дон}} = 0,05$  та  $b_{\text{дон}} = 0,01$ .

По таблицям [7] знаходимо значення аргументів функції  $\Phi(x)$  для  $\Delta 1$  та  $\Delta 2$ .

$$\Phi\left(\frac{\Delta 1}{s_h}\right) = 0,5 - 0,05 = 0,45. \text{ Відповідно, } \frac{\Delta 1}{s_h} \approx 1,65, \Delta 1 \approx 1,65 s_h = 49,5$$

$$\Phi\left(\frac{\Delta 2}{s_h}\right) = 0,5 - 0,01 = 0,49. \text{ Відповідно, } \frac{\Delta 2}{s_h} \approx 2,35, \Delta 2 \approx 2,35 s_h = 70,5$$

$$\Delta = \Delta 1 + \Delta 2 = 49,5 + 70,5 = 120\text{ м}$$

Таким чином, поза "зоною невизначеності" рішення про стан ОК приймається однозначно. Якщо необхідно приймати рішення всередині "зони невизначеності", то можна використовувати які-небудь критерії прийняття рішення. В автоматизованих системах обробки польотної інформації для процедури оцінювання широке розповсюдження знайшли байєсовські критерії оцінювання статистичних гіпотез, описані в [1].

### Похибки в цифрових системах

В цифрових системах контролю у зв'язку із використанням квантування спостережень по рівню, відтворене значення спостереження може відрізнитися від зареєстрованого (точніше – виміряного) на величину, рівну половині кванта в кожному

сторону (похибка квантування):

$$\bar{e}_{\text{відтв}} = \bar{e}_{\text{вим}} \pm \frac{q}{2},$$

де  $q = \frac{|A|}{2^n - 1}$ ;  $|A|$  – модуль "розмаху шкали" засобу контролю;  $n$  – розрядність квантователя.

Найгіршим, з точки зору вірогідності результатів контролю стану «П», є варіант, коли при контролі відносно верхньої границі допуску відтворюється завищені на величину  $q/2$  значення параметра:

$$\bar{e}_{\text{відтв}} = \bar{e}_{\text{вим}} + \frac{q}{2}, \quad (1)$$

а при контролі відносно нижньої границі допуску – занижені значення:

$$\bar{e}_{\text{відтв}} = \bar{e}_{\text{вим}} - \frac{q}{2}, \quad (1')$$

З позиції вірогідність контролю стану « $\bar{П}$ » – картина зворотна. Найгірші варіанти:

для верхньої границі допуску: 
$$\bar{e}_{\text{відтв}} = \bar{e}_{\text{вим}} - \frac{q}{2}, \quad (2)$$

для нижньої границі допуску: 
$$\bar{e}_{\text{відтв}} = \bar{e}_{\text{вим}} + \frac{q}{2}. \quad (2')$$

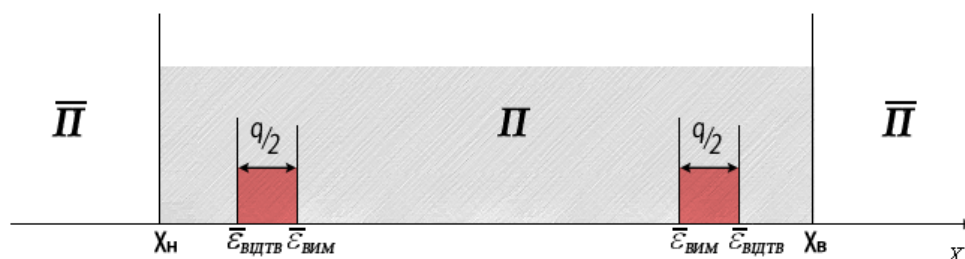


Рис. 3. Похибки квантователя:

$X_n, X_v$  – нижня та верхня границі допуску;

$\bar{e}_{\text{ВІДТВ}}$  – відтворене значення;

$\bar{e}_{\text{ВИМ}}$  – виміряне значення.

Для цифрових систем "зона невизначеності" поблизу межі допуску рівна ціні кванта  $q$  ( $\pm \frac{q}{2}$  в кожную сторону від границі). Для використання критеріїв перевірки статистичних гіпотез [1] в "зоні невизначеності" розглянемо критерії оцінки відтвореного значення в умовах максимально можливих похибок, які вносить квантователь. Виконавши нескладні математичні перетворення з урахуванням (1, 1') и (2, 2') отримаємо алгоритм перевірки гіпотез «П» та « $\bar{П}$ » по значенням спостережень незалежно від параметрів розподілу випадкової похибки:

$$\text{а) для "верхнього" допуску: } \bar{e}_{\text{вим}} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} \Pi \\ \bar{\Pi} \end{matrix} X_e - \frac{S_h^2}{q} \ln h(e, C); \quad (3)$$

$$\text{б) для "нижнього" допуску: } \bar{e}_{\text{вим}} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} \Pi \\ \bar{\Pi} \end{matrix} X_n + \frac{S_h^2}{q} \ln h(e, C), \quad (4)$$

де  $h(e, C)$  – критерій прийняття рішення.

## ВИСНОВКИ

1. Будь-який критерій прийняття рішення реалізується з урахуванням порога прийняття рішення.

2. Вибір порога прийняття рішення суттєво впливає на отриманий результат. Оскільки вибір порога в значній мірі евристичний, до використання критерію треба відноситись дуже обережно. Для прийняття рішення про стан ОК з урахуванням випадкової похибки та заданими допустимими значеннями помилок I і II роду, необхідно розрахувати "зону невизначеності", поза межами якої рішення приймається однозначно.

3. Якщо "зона невизначеності" дуже широка можна або збільшити допустимі помилки I і II роду, або використовувати засоби вимірювання (датчики, прилади), які мають меншу похибку ( $s$ ).

4. Обираючи оптимальне значення розрядності в цифрових системах контролю необхідно враховувати розподілення випадкової похибки вимірювання. При виборі занадто великої розрядності буде мати місце квантування похибки. Доцільно, щоб "зона невизначеності" за рахунок розрядності квантователя відповідала "зоні невизначеності", яку вносить випадкова похибка з урахуванням помилок I і II роду.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Яцков Н. А. Основы построения автоматизированных систем контроля полетов воздушных судов. Киев, 1989. – 344с.
2. Дмитриев В. И. Прикладная теория информации – М.:Высш. шк., 1989. – 320с.
3. Правила інформаційного забезпечення системи управління безпекою польотів повітряних суден цивільної авіації України. // Мін. транспорту та зв'язку України. Державна авіаційна адміністрація.–Київ, 2009
4. ІКАО, Дос 9859 AN/474, Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Издание второе, 2009;
5. ГОСТ 20911-89.
6. Сукач О. М. Ентропійна оцінка похибок в системах автоматизованого контролю. – Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 3(31).–К.: НАУ, 2010. – С.139-141.
7. Большев Л. Н., Смирнов Н. В., Таблицы математической статистики, – М.: Наука, 1983. – 416с.

*Надійшла до редакції 28.10.2011*