

УДК 681.5

ББК 3965-021.1.6631

О.А. Сущенко, канд. техн. наук

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ПОКАЗНИКІВ ВІРОГІДНОСТІ КОНТРОЛЮ З ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВИМІРЮВАЧІВ НАВІГАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ

*Запропоновано спосіб установаження взаємозв'язків між показниками вірогідності контролю і експлуатаційними характеристиками вимірювачів навігаційних параметрів. Виконано аналіз методичної складової вірогідності контролю.*

Основним критерієм, що дозволяє оцінити якість контролю вимірювачів навігаційних параметрів, є його вірогідність. У науково-технічній літературі існують різні підходи до оцінки показників вірогідності контролю [1]. Значну кількість робіт [2] присвячено проблемі встановлення взаємозв'язку між показниками точності вимірювання та оптимальними значеннями параметрів, що контролюються. Але при цьому не враховується необхідність дослідження зв'язку показників вірогідності контролю вимірювачів навігаційних параметрів з їхніми конструктивними та експлуатаційними характеристиками.

Вимоги до зниження масогабаритних характеристик перспективних вимірювачів навігаційних параметрів у сукупності з тією обставиною, що ці характеристики значною мірою залежать від точності, вимагають дослідження взаємозв'язку показників вірогідності контролю з масогабаритними і точнісними характеристиками.

Інструментальна складова вірогідності контролю характеризується умовною ймовірністю отримання рішення «не годиться» за умови контролю параметра, значення якого в дійсності відповідає заданим вимогам (імовірністю хибної відмови  $P_{XB}$ ) і умовною ймовірністю отримання рішення «годиться» за умови контролю параметра, значення якого в дійсності не відповідає заданим вимогам (імовірністю невизначеної відмови  $P_{HB}$ ). Імовірності появи хибної та невизначеної відмов визначаються виразами [3]:

$$P_{XB} = \int_{m_x-a}^{m_x+a} f_1(x) \left[ \int_{-\infty}^{m_x-b} f_2(x,y) dy + \int_{m_x+b}^{\infty} f_2(x,y) dy \right] dx; \quad (1)$$

$$P_{HB} = \int_{-\infty}^{m_x-a} f_1(x) \left[ \int_{m_x-b}^{m_x+b} f_2(x,y) dy \right] dx + \int_{m_x+a}^{\infty} f_1(x) \left[ \int_{m_x-b}^{m_x+b} f_2(x,y) dy \right] dx; \quad (2)$$

$$f_1(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}};$$

$$f_2(x,y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-x)^2}{2\sigma_y^2}},$$

де  $m_x$  – математичне сподівання контрольованого параметра;  $a$  – граничне відхилення контрольованого параметра в умовах експлуатації;  $f_1(x)$  – щільність імовірності розподілу контрольованого параметра  $x$ ;  $b$  – граничне відхилення контрольованого параметра в умовах контролю;  $f_2(x,y)$  – щільність імовірності розподілу вимірюваного параметра  $y$ ;  $\sigma_x$  – середньоквадратичне відхилення контрольованого параметра;  $\sigma_y$  – середньоквадратичне відхилення похибки вимірювань.

У випадку симетричності граничних відхилень параметрів вирази (1), (2) можуть бути подані у вигляді

$$P_{XB} = 4 \int_0^{m_x+a} f_1(x) \left[ \int_{m_x+b}^{\infty} f_2(x, y) dy \right] dx; \quad (3)$$

$$P_{HB} = 4 \int_{m_x+a}^{\infty} f_1(x) \left[ \int_0^{m_x+b} f_2(x, y) dy \right] dx. \quad (4)$$

У дійсності контрольовані параметри мають скінчений розподіл. У зв'язку з цим у співвідношеннях (3), (4) необхідно визначити межі інтегрування.

Оскільки завжди виконується умова

$$P_{HB} = \frac{2}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{m_x+a}^{\infty} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} \left[ \frac{2}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_0^{m_x+b} e^{-\frac{(y-x)^2}{2\sigma_y^2}} dy \right] dx < \frac{2}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{m_x+a}^{\infty} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx, \quad (5)$$

то для встановлення скінченого значення межі інтегрування достатньо розглянути праву частину нерівності (5), яка після заміни змінних

$$\frac{x - m_x}{\sigma_x} = u, \quad dx = \sigma_x du$$

набуває вигляду

$$J = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a}{\sigma_x}}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du. \quad (6)$$

Виходячи з теореми про сегментацію інтеграла співвідношення (6) можна подати у вигляді

$$\frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a}{\sigma_x}}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a}{\sigma_x}}^{\frac{ka}{\sigma_x}} e^{-\frac{u^2}{2}} du + \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{ka}{\sigma_x}}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du, \quad (7)$$

де  $k$  – ціла позитивна величина.

Як виходить із співвідношення (7), для визначення межі інтегрування, яка забезпечить обчислення інтеграла із заданою точністю  $\varepsilon$ , необхідно виконати умову

$$\frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{ka}{\sigma_x}}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du = \varepsilon.$$

Значення межі інтегрування на основі заданої точності  $\varepsilon$  може бути знайдено за допомогою відповідних таблиць.

Для  $n$  параметрів імовірність виникнення хоча б однієї відмови (хибної або невизначеної) знаходиться за допомогою співвідношень:

$$P_{XB} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{XB_i});$$

$$P_{HB} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{HB_i}),$$

де  $P_{XB_i}$ ,  $P_{HB_i}$  – імовірності хибної і невизначеної відмов для  $i$ -го параметра.

Дослідження проблеми встановлення взаємозв'язку точнісних і масогабаритних характеристик та показників вірогідності контролю вимірювачів навігаційних параметрів має велике значення для вирішення питань проектування систем керування в цілому. Це зумовлено тим, що похибки каналів систем керування значною мірою залежать від точнісних параметрів вимі-

рювачів навігаційних параметрів. До того ж зміна точнісних характеристик системи керування значно впливає на її масогабаритні характеристики.

Взаємозв'язок точнісних параметрів і масогабаритних характеристик гіроприладів, які є одними з найбільш поширених вимірювачів навігаційних параметрів, може бути описаний співвідношенням, отриманим на основі роботи [4] і статистичних відомостей про конструктивні особливості гіроприладів різного типу:

$$\sigma_x = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{k_T}{\left(\frac{V}{\pi k k_{kn} N^3}\right)^{4/3} \Omega^2 + k_f}},$$

де  $V$  – об'єм гіроприладу;  $k$  – математичне сподівання співвідношення між висотою  $d$  і радіусом ротора гіромотора  $R$ :  $k = m[d/R]$ ;  $k_{kn}$  – математичне сподівання критерію конструктивної подібності:  $k_{kn} = m[V/V_p]$ ;  $V_p$  – об'єм ротора;  $N, k_f, k_T$  – коефіцієнти, які враховують конструктивні особливості гіроприладів різного типу;  $\Omega$  – швидкість власного обертання ротора.

Взаємозв'язок інструментальної складової вірогідності контролю з точнісними і масогабаритними характеристиками гіроскопічних вимірювачів навігаційних параметрів ілюструється залежностями, поданими на рис. 1.

Невизначені та хибні відмови можуть бути також обумовлені методичними похибками контролю. Імовірність виникнення невизначених відмов проаналізуємо з урахуванням інструментальної та методичної складових. Остання у цьому випадку може визначатись виразом

$$P'_{HB} = 1 - (1 - P_{HB})(1 - P_{HBH_1})(1 - P_{HBH_2}),$$

де  $P'_{HB}$  – імовірність виникнення невизначеної відмови з урахуванням методичної складової вірогідності контролю;  $P_{HBH_1}$  – складова, обумовлена недостатньою інформацією про стан окремих пристроїв;  $P_{HBH_2}$  – складова, обумовлена відміною зовнішніх умов контролю від умов експлуатації.

Методична складова вірогідності контролю, зумовлена недостатньою інформацією про стан окремих пристроїв, може бути визначена таким співвідношенням:

$$P_{HBM_1} = 1 - e^{-\sum_{i=1}^l \lambda_i t_{xp}},$$

де  $l$  – кількість елементів, яка не контролюється;  $\lambda_i$  – інтенсивність відмови  $i$ -го елемента в умовах зберігання;  $t_{xp}$  – час зберігання гіроприладу.

Величина методичної складової, зумовленої недостатньою інформацією про стан окремих пристроїв, визначається структурними особливостями вимірювачів навігаційних параметрів і може бути зменшена за рахунок збільшення повноти контролю, тобто збільшення кількості елементів, що контролюються.

Проаналізуємо методичну складову вірогідності контролю, зумовлену відміною умов контролю та експлуатації. Для  $x_i$ -го параметра ця методична складова визначається виразом

$$P_{HBM_{2i}} = 2\Phi\left(\frac{b_i}{\sigma_{x_{i0}}}\right) \left[ 1 - 2\Phi\left(\frac{a_i}{\sigma_{x_i}}\right) \right], \quad (8)$$

де  $2\Phi$  – подвійний інтеграл Лапласа, який визначає ймовірність знаходження похибок параметра із середньоквадратичними відхиленнями  $\sigma_{x_{i0}}$  ( $\sigma_{x_i}$ ) в інтервалі  $b_i(a_i)$ ;  $b_i$  – граничне відхилення параметра  $x_i$  за умов контролю;  $\sigma_{x_{i0}}$  – середньоквадратичне відхилення за умов контролю;  $a_i$  – граничне відхилення параметра  $x_i$  за умов експлуатації;  $\sigma_{x_i}$  – середньоквадратичне відхилення за умов експлуатації.

Отже, методична складова вірогідності контролю  $P_{HBM_{2i}}$  враховує можливість знаходження параметра  $x_i$  в межах граничних значень  $b_i$  у процесі контролю і виходу параметра  $x_i$  за межі граничних значень  $a_i$  в умовах експлуатації.

Для  $r$  видів контролю технічного стану вираз (8) приймає вигляд

$$P_{HBM_{2i}} = 2^r \prod_{j=1}^r \Phi \left( \frac{b_{ij}}{\sigma_{x_{0j}}} \right) \left[ 1 - 2\Phi \left( \frac{a_i}{\sigma_{x_i}} \right) \right],$$

де  $b_{ij}$  – граничне значення  $i$ -го параметра при  $j$ -му виді контролю.

Характер зміни методичної складової вірогідності контролю, обумовленої відміною умов контролю і експлуатації, при різних видах контролю відповідає графіку, поданому на рис. 2.

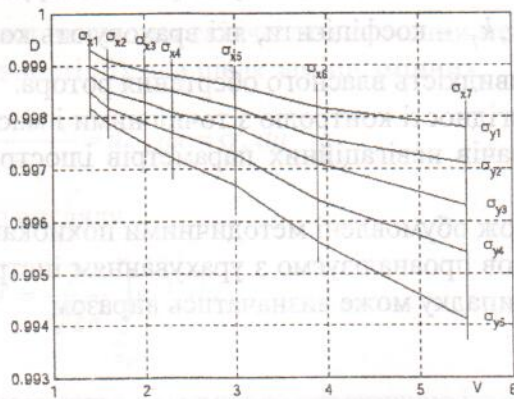


Рис. 1. Взаємозв'язок інструментальної вірогідності контролю з характеристиками навігаційних вимірювачів

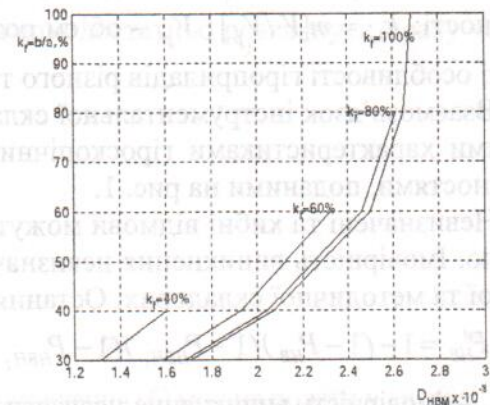


Рис. 2. Характер зміни методичної складової вірогідності контролю при різних видах контролю

Для  $n$  параметрів методична складова вірогідності контролю  $P_{dYc_2}$  визначається співвідношенням

$$P_{HBM_2} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{HBM_{2i}}).$$

Відповідні співвідношення для аналізу методичної складової вірогідності контролю, пов'язаної з виникненням хибних відмов, мають вигляд:

$$P_{XBM} = 2^r \prod_{j=1}^r \Phi \left( \frac{a_{ij}}{\sigma_{x_{ij}}} \right) \left[ 1 - 2\Phi \left( \frac{b_i}{\sigma_{x_{0i}}} \right) \right].$$

**Висновок.** З метою підвищення якості ранніх етапів проектування виконано аналіз взаємозв'язку показників вірогідності контролю і експлуатаційних характеристик вимірювачів навігаційних параметрів. Для урахування відміни умов контролю і експлуатації запропоновано спосіб оцінки методичної складової вірогідності контролю вимірювачів навігаційних параметрів.

#### Список літератури

1. Автоматизированное проектирование сложных логических структур / Под ред. В.А. Горбачова. – М.: Энергия, 1978. – 304 с.
2. Автоматическая структура контроля радиоэлектронного оборудования / Под ред. Н.И. Пономарева. – М.: Сов. радио, 1975. – 328 с.
3. Разумный В.М. Оценка параметров автоматического контроля. – М.: Энергия, 1975. – 79 с.
4. Павлов В.А. Основы проектирования и расчета гироскопических приборов. – Л.: Судостроение, 1967. – 407 с.

Стаття надійшла до редакції 19.06.02.