

УДК 621.317.08.004:623.7(06)

М.Ю. ЯКОВЛЕВ

Науковий центр Сухопутних військ Львівського інституту Сухопутних військ Національного університету "Львівська політехніка", Україна

ОЦІНКА НЕСТАБІЛЬНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПЕРВИННОГО МІЖПОВІРЧОГО ІНТЕРВАЛУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ АВІАЦІЙНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

У статті встановлено, що точність прогнозування первинного міжповірчого інтервалу засобів вимірювальної техніки авіаційних радіотехнічних систем найбільше залежить від точності вихідних даних. Визначено основні можливі джерела отримання даних при встановленні первинного міжповірчого інтервалу засобів вимірювальної техніки авіаційних радіотехнічних систем. Розглянуто основні способи оцінки нестабільності метрологічних характеристик при визначенні первинного міжповірчого інтервалу засобів вимірювальної техніки авіаційних радіотехнічних систем залежно від характеру й обсягу інформації про їх нестабільність, розроблено практичні рекомендації щодо їх застосування.

Ключові слова: засоби вимірювальної техніки, авіаційні радіотехнічні системи, первинний міжповірчий інтервал, метрологічна характеристика, нестабільність, дрейф, метрологічна надійність.

Вступ

Постановка проблеми. Питання встановлення первинних міжповірчих інтервалів (МПІ) під час метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) авіаційних радіотехнічних систем (АРТС) є актуальним з моменту введення обов'язкової повірки ЗВТ АРТС, як однієї з форм метрологічного нагляду за ЗВТ АРТС з метою визначення їх придатності до застосування [1]. Встановлення первинних МПІ ЗВТ АРТС має важливе техніко-економічне значення не тільки для метрологічного обслуговування ЗВТ АРТС, але і для вимірювального контролю характеристик АРТС [2].

Аналіз літератури. Первинні МПІ для ЗВТ АРТС, що підлягають серійному виробництву, призначають при проведенні державних приймальних випробувань або сертифікації даного типу ЗВТ АРТС. Основними вихідними даними, необхідними для визначення первинних МПІ ЗВТ АРТС, є статистичні характеристики нестабільності ЗВТ АРТС – математичне очікування $m(t)$, середнє квадратичне відхилення (СКВ) $\sigma(t)$ та коефіцієнт асиметрії $\gamma(t)$. Оцінки цих характеристик можуть бути отримані з наявних у розпорядженні розробника матеріалів – проектної документації, технічних умов, протоколів означальних випробувань на нестабільність ЗВТ АРТС або їхніх елементів, протоколів контрольних випробувань на надійність ЗВТ АРТС. У принципі можливі наступні джерела інформації: випробування ЗВТ АРТС або їхніх окремих блоків; дані про

нестабільність елементів ЗВТ АРТС, що представлені їхніми постачальниками; показники надійності ЗВТ АРТС, що нормовані або підтверджені випробуваннями.

Точність прогнозування МПІ ЗВТ АРТС найбільше залежить від точності вихідних даних. Тому, розглядаючи можливі джерела інформації про нестабільність ЗВТ АРТС, варто встановити для них шкалу переваги. Найкращими представляються випробування партії ЗВТ АРТС з метою оцінки їхньої нестабільності. Такі випробування можуть бути проведені спеціально, сполучені з контрольними випробуваннями на надійність або проведені у вигляді підконтрольної експлуатації перших партій ЗВТ АРТС, що випущені з виробництва.

Нерідко відсутня можливість проведення таких випробувань до моменту призначення первинного МПІ ЗВТ АРТС, але є інформація про результати проведених у процесі розробки випробувань на нестабільність окремих елементів, що істотно впливають на нестабільність ЗВТ АРТС у цілому (вимірювальні перетворювачі, опорні елементи систем калібрування й т.п.), або інформація виробників складових елементів про їхню нестабільність. У цьому випадку доцільна розрахункова оцінка показників нестабільності ЗВТ АРТС за даними про нестабільність їхніх елементів. Співвідношення цих способів приблизно таке ж, як методів поелементної повірки й повірки звіренням – повірка звіренням переважніше, але іноді доводиться обмежуватися поелементною повіркою, яка у принципі також може бути досить точною [3, 4].

У тих випадках, коли не вдається оцінити нестабільність ЗВТ АРТС цими способами, рекомендується використовувати показники надійності ЗВТ АРТС, що нормовані в технічних умовах або фактичними, підтвердженими контрольними випробуваннями. Якщо ж відсутня і ця інформація, доводиться призначати МПІ ЗВТ АРТС експертним методом, виходячи з досвіду експлуатації ЗВТ АРТС інших типів, близьких до розробленого по призначенню, умовам експлуатації й конструктивному виконанню або інтуїції розробників. Орієнтовна оцінка первинного МПІ ЗВТ АРТС зазначеними способами може привести до грубих помилок. Тому для підтримки високого рівня єдності вимірювань краще в цих випадках призначати свідомо малий МПІ, що гарантує з високим ступенем упевненості необхідний рівень метрологічної надійності ЗВТ АРТС [5].

Комісії, що проводять державні приймальні випробування або сертифікацію ЗВТ АРТС даного типу, мають право тимчасово призначити такі МПІ до одержання експериментальних даних про нестабільність ЗВТ АРТС і одночасно доручити виробникам ЗВТ АРТС організацію підконтрольної експлуатації з метою збору цієї інформації. Після одержання достовірної інформації про нестабільність ЗВТ АРТС організація, що проводила державні випробування або сертифікацію, може прийняти рішення про збільшення первинного МПІ ЗВТ АРТС. Додаткові витрати на підконтрольну експлуатацію та коректування первинного МПІ, природно, повинні відшкодовуватися виробником ЗВТ АРТС, так як він не забезпечив підтвердження необхідних метрологічних характеристик (МХ) ЗВТ АРТС до моменту його затвердження.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо детальніше вище перераховані способи одержання інформації про нестабільність ЗВТ АРТС.

При проведенні випробувань формують партію ЗВТ АРТС об'ємом N не менш 30 екземплярів. Цю партію піддають випробуванням у звичайному або форсованому режимі (якщо відомо коефіцієнт прискорення). Через однакові проміжки часу або наробітку Δt проводять вимірювання контрольованих параметрів. Проміжок Δt повинен бути таким, щоб приріст МХ ЗВТ АРТС $\xi(\Delta t)$ міг бути вимірний із прийнятною точністю. Це забезпечується дотриманням наступних умов – не менш чим у половини партії $\xi_j(\Delta t)$ (приріст МХ j -го ЗВТ АРТС) повинні бути:

– значимі на тлі випадкових похибок ЗВТ АРТС;

– не менш чим в 3 рази більше межі допустимих похибок ЗВТ, що застосовується для оцінки нестабільності ЗВТ АРТС.

Тривалість випробувань повинна не перевищувати значення $3\Delta t$.

За значеннями нестабільності $\xi_j(i\Delta t)$ (приріст i -ї МХ j -го ЗВТ АРТС), знаходять вибіркові характеристики розподілу нестабільності МХ у точці x діапазону ЗВТ АРТС:

$$\bar{m}(i\Delta t, x) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \xi_j(i\Delta t, x); \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

де $\bar{m}(i\Delta t, x)$ – вибіркові значення математичного очікування нестабільності i -ї МХ у точці x діапазону ЗВТ АРТС;

n – кількість МХ ЗВТ АРТС;

$$\bar{\sigma}(i\Delta t, x) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N B^2}; \quad (2)$$

де $\bar{\sigma}(i\Delta t, x)$ – вибіркові значення СКВ нестабільності i -тої МХ у точці x діапазону ЗВТ АРТС;

B – допоміжна функція, що визначається співвідношенням:

$$B = \xi_j(i\Delta t, x) - \bar{m}(i\Delta t, x); \quad (3)$$

$$\bar{\gamma}(i\Delta t, x) = \frac{1}{\bar{\sigma}^3(i\Delta t, x)N} \sum_{j=1}^N B^3, \quad (4)$$

де $\bar{\gamma}(i\Delta t, x)$ – вибіркові значення коефіцієнта асиметрії нестабільності i -ї МХ у точці x діапазону ЗВТ АРТС.

Потім за цими значеннями підбирають апроксимуючі поліноми для функцій $m(t, x)$, $\sigma(t, x)$ і $\gamma(t, x)$ наступного вигляду:

$$m(t, x) = \sum_{k=0}^{l_m} m_k(x)t^k; \quad (5)$$

$$\sigma(t, x) = \sigma(0, x) \exp \left[\sum_{k=1}^{l_m} r_{1k}(x)t^k \right]; \quad (6)$$

$$\gamma(t, x) = \sum_{k=1}^{l_m} \gamma_k(x)t^k. \quad (7)$$

Постійні коефіцієнти $m_k(x)$, $\sigma(0, x)$, $r_{1k}(x)$ і $\gamma_k(x)$ підбирають за допомогою методу найменших квадратів для функцій $m(t, x)$, $\ln \sigma(t, x)$ і $\gamma(t, x)$. Слід відзначити, що при визначенні функції $\gamma(t, x)$ доцільно спочатку перевірити гіпотезу про нормальний розподіл нестабільності МХ ЗВТ АРТС. Найпростіше це зробити за допомогою наближеного критерію значимості $\bar{\gamma}(i\Delta t, x)$ [6]. Відповідно до нього гіпотезу про нормальність розподілу відкинути не можна, і приймаємо, що $\gamma(i\Delta t, x) = 0$, якщо виконується наступна умова [6]:

$$\bar{\gamma}(i\Delta t, x) < \sigma_\gamma, \quad (8)$$

де σ_γ – СКВ розподілу коефіцієнта асиметрії $\gamma(i\Delta t, x)$, що обумовлене співвідношенням:

$$\sigma_\gamma = \sqrt{\frac{6(N-1)}{(N+1)(N+3)}}. \quad (9)$$

Наприклад, при $N = 30$ СКВ розподілу коефіцієнта асиметрії дорівнює $\sigma_\gamma \cong 0,41$, а при $N = 100$ – $\sigma_\gamma \cong 0,24$, при $N = 200$ – $\sigma_\gamma \cong 0,17$. Виходячи із цього, варто прагнути формувати партію ЗВТ АРТС для випробувань об'ємом не менш 100 екземплярів.

На цьому закінчується експериментальна оцінка характеристик нестабільності ЗВТ АРТС. Якщо необхідно додатково оцінити довірчий інтервал для МПІ, варто знайти довірчі границі для функцій $\bar{m}(t, x)$, $\bar{\sigma}(t, x)$ і $\bar{\gamma}(t, x)$ та для них побудувати апроксимуючі поліноми вигляду (5 – 7).

Оцінка нестабільності ЗВТ АРТС за характеристиками нестабільності елементів проводиться на етапі проектування.

Орієнтовну оцінку нестабільності ЗВТ АРТС за нормованими характеристиками надійності визначимо наступним чином. Якщо нормується ймовірність безвідмовної роботи $P_{БР}(t)$, доцільно оцінити, хоча б орієнтовно, частку метрологічних відмов q у загальному потоці відмов ЗВТ АРТС. Імовірність роботи без метрологічних відмов з обліком величини q складає:

$$P(t) = 1 - [1 - P_{БР}(t)]q. \quad (10)$$

Якщо q не відомо, то приймаємо $q = 1$ і відповідно $P(t) = P_{БР}(t)$. Мінімальний обсяг інформації

змушує прийняти допущення про нормальний розподіл нестабільності ЗВТ АРТС, тому вважаємо, що $\gamma(t) = 0$. У якості МПІ, що відповідає ймовірності $P(t)$, приймаємо мінімум із двох значень, обчислених для найпростіших, але принципово різних, моделей дрейфу МХ ЗВТ АРТС: лінійного та віялового.

При лінійному дрейфі характеристиками нестабільності є $\sigma(\tau) = \sigma(0)$ й $m(\tau) = m_1(\tau)$:

$$m_1(\tau) = \frac{\Delta - \lambda_{P(t)}\sigma(0)}{t}, \quad (11)$$

де $m_1(\tau)$ – допоміжна функція, що визначається із співвідношення (11);

τ – проміжок часу, що належить інтервалу $[0, t]$;

$\lambda_{P(t)}$ – квантиль нормального розподілу, що відповідає ймовірності $P(t)$;

t – час, за який нормується ймовірність $P(t)$;

Δ – межа допустимих значень МХ (або нестабільності МХ) ЗВТ АРТС.

При віяловому дрейфі МХ ЗВТ АРТС характеристиками нестабільності є $m(\tau) = 0$ й

$$\sigma(\tau) = \sigma(0)e^{f_1\tau}, \quad (12)$$

де f_1 – допоміжна функція, що знаходимо з виразу:

$$f_1 = \frac{1}{t} \ln \left[\frac{\Delta}{\lambda_{0,5[1-P(t)]}\sigma(0)} \right], \quad (13)$$

де $\lambda_{0,5[1-P(t)]}$ – квантиль нормального розподілу, що відповідає ймовірності $1 - P(t)$.

Отже, МПІ ЗВТ АРТС T дорівнює:

$$T = \min[T_1, T_2], \quad (14)$$

де T_1 – значення МПІ, що обчислено при припущенні про лінійний дрейф МХ ЗВТ АРТС;

T_2 – значення МПІ, що обчислено при припущенні про віяловий дрейф МХ ЗВТ АРТС.

Якщо нормується середній наробіток до відмови ЗВТ АРТС $T_{сер}$, також приймаємо $\gamma(t) = 0$, а в якості МПІ знаходимо мінімум їхніх значень, що відповідають лінійній і віяловій моделям дрейфу МХ ЗВТ АРТС.

При лінійному дрейфі характеристиками нестабільності є $\sigma(\tau) = 0$ та $m(\tau) = m_2(\tau)$:

$$m_2(\tau) = \frac{\Delta}{T_{\text{сер}}}, \quad (15)$$

де $m_2(\tau)$ – допоміжна функція, що визначається за формулою (15);

а при віяловому дрейфі характеристиками нестабільності є $m(\tau) = 0$ й

$$\sigma(\tau) = \sigma(0)e^{f_2\tau}, \quad (16)$$

де f_2 – допоміжна функція, що знаходимо з виразу:

$$f_2 = \frac{1}{T_{\text{сер}} \left[\ln \frac{\Delta}{\sigma(0)} + 0,635 \right]}. \quad (17)$$

Отже МПІ знаходимо відповідно із співвідношення (14).

У відповідності з логікою викладання, слід відзначити, що з метою врахування специфіки експлуатації таких складних комплексів, як АРТС, орієнтовну оцінку нестабільності ЗВТ АРТС доцільно проводити за вище розглянутою послідовністю з використанням показників метрологічної надійності, що наведені, наприклад, в [7 – 10].

Висновки

Таким чином, у статті показано, що точність прогнозування МПІ ЗВТ АРТС найбільше залежить від точності вихідних даних. Визначено основні можливі джерела отримання даних при встановленні первинних МПІ ЗВТ АРТС. Розглянуто основні способи оцінки нестабільності МХ при визначенні первинного МПІ ЗВТ АРТС залежно від характеру й обсягу інформації про їх нестабільність. Розроблено практичні рекомендації щодо їх застосування.

Література

1. Яковлев М.Ю. *Забезпечення метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки авіаційних радіотехнічних систем на етапі експлуатації* / М.Ю. Яковлев // *Збірник наукових праць Харківського*

університету Повітряних Сил. – Х.: ХУ ПС, 2007. – Вип. 3 (15). – С. 136-141.

2. Яковлев М.Ю. *Обґрунтування міжповітряних інтервалів засобів вимірювальної техніки авіаційних радіотехнічних систем* / М.Ю. Яковлев, А.П. Волобуєв // *Молодь, освіта, наука, культура і національна самосвідомість: матеріали ІХ Всеукраїнської Науково-практичної конференції, 25-27 квітня 2006р.* – К., 2006. – С. 253.

3. Богданов Г.П. *Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники: монография* / Г.П. Богданов. – М.: Энергия, 1990. – 328 с.

4. Екимов А.В. *Надежность средств измерительной техники: монография* / А.В. Екимов, М.И. Ревяков. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.

5. *Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: підр. для ВНЗ* / С.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко та інші. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219 с.

6. Кудрицкий В.Д. *Прогнозирование надежности радиоэлектронных устройств* / В.Д. Кудрицкий. – К.: Техника, 1973. – 156 с.

7. Яковлев М.Ю. *Показатели метрологической надёжности невосстанавливаемых средств измерительной техники* / М.Ю. Яковлев, В.П. Лысечко // *Current-State-Of-Art problems in Radio Engineering and Telecommunication "RT-2006": materials of International science technical conference of students, post-graduates and scientists, 17-21 April 2006 y.* – Sochi, 2006. – P. 157.

8. Яковлев М.Ю. *Показатели метрологической надёжности восстанавливаемых средств измерительной техники авиационных радиотехнических систем* / М.Ю. Яковлев, С.В. Герасимов, Ю.Б. Прибылев // *Психологические и технические аспекты безопасности труда, жизни и здоровья человека: сборник материалов III Межрегиональной научно-практической конференции, 18 мая 2006 г.* – Полтава, 2006. – С. 51.

9. Яковлев М.Ю. *Выбор и обоснование комплекса показателей метрологической надёжности средств измерительной техники авиационных радиотехнических систем* / М.Ю. Яковлев // *Наук.-техн. збірник*. – Вип. 42. – Донецьк: ДГТУ, 2007. – С. 45-49.

10. Яковлев М.Ю. *Комплекс показателей метрологической надёжности средств измерительной техники авиационных радиотехнических систем* / М.Ю. Яковлев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 5(41). – С. 73-78.

Надійшла до редакції 29.04.2008

Рецензент: д-р техн. наук, професор, провідний науковий співробітник Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

**ОЦЕНКА НЕСТАБИЛЬНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРВИЧНОГО МЕЖПОВЕРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА СРЕДСТВ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ АВИАЦИОННЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

М.Ю. Яковлев

В статье установлено, что точность прогнозирования первичного межповерочного интервала средств измерительной техники авиационных радиотехнических систем больше всего зависит от точности исходных данных. Выявлены основные возможные источники получения данных при установлении первичного межповерочного интервала средств измерительной техники авиационных радиотехнических систем. Рассмотрены основные способы оценки неустойчивости метрологических характеристик при определении первичного межповерочного интервала средств измерительной техники авиационных радиотехнических систем в зависимости от характера и объема информации об их неустойчивости, разработаны практические рекомендации по их применению.

Ключевые слова: средства измерительной техники, авиационные радиотехнические системы, первичный межповерочный интервал, метрологическая характеристика, неустойчивость, дрейф, метрологическая надежность.

**THE ESTIMATION OF INSTABILITY OF METROLOGICAL DESCRIPTIONS
AT DETERMINATION OF PRIMARY INTEREST INTERVAL OF FACILITIES
OF MEASURING TECHNIQUE OF THE AVIATION
RADIO ENGINEERING SYSTEMS**

M.Yu. Yakovlev

It is set in the article, that exactness of prognostication of primary interest interval of facilities of measuring technique of the aviation radio engineering systems most depends on exactness of basic data. The basic possible sources of receipt of information are exposed at establishment of primary interest interval of facilities of measuring technique of the aviation radio engineering systems. The basic methods of estimation of instability of metrological descriptions are considered at determination of primary interest interval of facilities of measuring technique of the aviation radio engineering systems depending on character and volume of information about their instability, practical recommendations are developed on their application.

Key words: facilities of measuring technique, aviation radio engineering systems, primary interest interval, metrological description, instability, drift, metrology reliability.

Яковлев Максим Юрійович – канд. техн. наук, начальник науково-дослідної лабораторії Наукового центру Сухопутних військ Львівського інституту Сухопутних військ Національного університету “Львівська політехніка”, Львів, Україна, e-mail: osobisto@rambler.ru.