

УДК 629.78.3

Ю.О. Фтемов, М.Ю. Яковлев

Львівський інститут Сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного НУ ЛПІ, Львів

ВИЗНАЧЕННЯ МІЖПОВІРОЧНИХ ІНТЕРВАЛІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Показано, що визначення первинного міжповірочного інтервалу засобів вимірювальної техніки, що рекомендується розробниками, необхідно коригувати в процесі їх експлуатації для більш ефективного їх використання. Запропонована методика визначення міжповірочних інтервалів засобів вимірювальної техніки відповідно до умов їх експлуатації, яка базується на призначенні індивідуального міжповірочного інтервалу для кожного засобу вимірювання на основі накопиченої інформації про поведінку його метрологічних характеристик.

Ключові слова: міжповірочний інтервал, метрологічні характеристики, метрологічна надійність.

Вступ

Постановка проблеми. Первинний міжповірочний інтервал (МПІ), що рекомендується розробниками засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), може коригуватися в процесі їх експлуатації. Необхідність коригування МПІ ЗВТ обумовлена двома факторами. По-перше, розробники ЗВТ на етапах проектування й підготовки серійного випуску часто ще не мають досить достовірної інформації про нестабільність метрологічних характеристик (МХ) ЗВТ. Зокрема, така ситуація типова для принципово нових типів ЗВТ, що реалізують нові фізичні принципи (або ЗВТ, що побудовані на сучасній елементній базі). У зв'язку із цим прогнозні оцінки МПІ можуть істотно відрізнитися від оптимальних значень. Другим, ще більш важливим фактором є те, що МПІ, що рекомендується розробниками, орієнтовані на усередненого споживача. Реальні умови застосування ЗВТ одного типу можуть істотно різнитися. Один екземпляр ЗВТ буде постійно перебувати в роботі, другий – використовуватися епізодично, а третій буде випробовувати більші механічні навантаження. Природно, що нестабільність цих ЗВТ буде різною, хоча вони й належать до одного типу. При цих розходженнях розумно й МПІ призначати різними, залежно від умов експлуатації ЗВТ.

Аналіз публікацій. Питанню визначення МПІ ЗВТ присвячено декілька робіт, наприклад [1 – 3]. Проте вони не враховують специфіки експлуатації окремих ЗВТ, особливо, з комплексів складних технічних комплексів військового призначення. Не оптимально визначений МПІ може негативно позначитися на процесі експлуатації складних технічних комплексів військового призначення.

Метою статті є розробка методики коригування міжповірочних інтервалів засобів вимірювальної техніки військового призначення відповідно до умов їх експлуатації.

Основна частина

Об'єктивну інформацію про нестабільність або метрологічну надійність (МН) ЗВТ, необхідну для проведення коригувань МПІ, дають періодичні повір-

ки засобів вимірювань. Для цієї мети результати повірок ЗВТ являють собою ідеальну інформацію. З одного боку, вони відбивають не тільки конструктивні особливості ЗВТ, але й індивідуальні властивості й специфіку експлуатації кожного засобу (інтенсивність експлуатації ЗВТ, кліматичні й механічні впливи на ЗВТ, якість обслуговування ЗВТ, кваліфікація персоналу, умови транспортування на повірку ЗВТ і т.д.). З іншого боку, одержання цієї інформації не пов'язане з більшими додатковими зусиллями й витратами. Варто лише організувати її реєстрацію й зберігання в зручному вигляді. Здійснювана в цей час комп'ютеризація метрологічних служб дозволяє вирішити цю задачу оптимальним способом, шляхом створення й автоматичного поповнення машинних баз даних про результати повірок. Варто також підкреслити, що ідеологія коригування міжповірочних інтервалів засобів вимірювальної техніки військового призначення у процесі експлуатації базується на принципах, викладених у нормативних документах, наприклад [1].

Розглянемо запропоновану методику коригування МПІ ЗВТ відповідно до умов їх експлуатації.

На першому етапі створюється база даних про результати повірок ЗВТ, для чого необхідно, насамперед, виділити групи однорідних об'єктів. До них будуть належати ЗВТ одного типу, що мають приблизно однакові умови експлуатації й однаковий рік виготовлення. Для формування таких груп варто внести в базу даних інформацію про кожний екземпляр ЗВТ: позначення типу, найменування заводу-виробника, рік випуску з виробництва й заводський номер, номер та найменування військової частини, що експлуатує ЗВТ, умови експлуатації (інтенсивність використання й характеристики зовнішніх впливів), інформацію про їхні відмови й ремонти, дати та результати попередніх і поточних повірок. Формуючи різні вибірки з бази даних, можна групувати результати повірок по роках, що пройшли після випуску ЗВТ з виробництва або ремонту, з урахуванням умов експлуатації ЗВТ. Далі проводять статистичну обробку згрупованих результатів повірок ЗВТ, методика якої залежить від способу їхньої реєстрації.

1. Якщо при повірці реєструють значення МХ

кожного ЗВТ, статистичну обробку проводять так само, як при проведенні випробувань на нестабільність.

2. Якщо при повірці ЗВТ реєструють тільки знак значення МХ і альтернативну ознаку – придатним або непридатним є ЗВТ у кожній повіряємій точці діапазону, поступають наступним чином. Визначають статистичні ймовірності знаходження МХ ЗВТ ξ точки x діапазону у відповідній області значень:

$$\bar{p}_1(t_i, x) = \text{Pr obability} \{ \xi(t_i, x) < -\Delta(x) \};$$

$$\bar{p}_2(t_i, x) = \text{Pr obability} \{ \xi(t_i, x) < 0 \};$$

$$\bar{p}_3(t_i, x) = \text{Pr obability} \{ \xi(t_i, x) \leq \Delta(x) \}.$$

Цим ймовірностям відповідають вибіркові значення квантилів нормального розподілу $\bar{\lambda}_1 = (t_i, x)$, $\bar{\lambda}_2 = (t_i, x)$ і $\bar{\lambda}_3 = (t_i, x)$. Підставимо їх у наступне рівняння: $\Phi [G_j(t_i, x)] = \bar{p}_j(t_i, x)$, де $G_j(t_i, x)$ – функція двох змінних t_i і x визначається із

$$G_j(t_i, x) = \begin{cases} G(t_i, -\Delta(x)), & j=1; \\ G_j(t_i, 0), & j=2; \\ G_j(t_i, \Delta(x)), & j=3, \end{cases}$$

одержуємо систему трьох рівнянь щодо невідомих $\bar{m}(t_i, x)$, $\bar{\sigma}(t_i, x)$, $\bar{U}(t_i, x)$ і $\bar{R}(t_i, x)$:

$$\frac{-\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x) + \bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)}\bar{U}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)} - [\Delta(x) + \bar{m}(t_i, x)]\bar{U}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_1(t_i, x); \quad (1)$$

$$\frac{-\bar{m}(t_i, x) + \bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)}\bar{U}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)} - \bar{m}(t_i, x)\bar{U}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_2(t_i, x); \quad (2)$$

$$\frac{\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x) + \bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)}\bar{U}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)} + [\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x)]\bar{U}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_3(t_i, x). \quad (3)$$

Четвертим рівнянням є відома залежність:

$$\bar{R}(t_i, x) = f [\bar{U}(t_i, x)].$$

Після розв'язку рівнянь (1 – 3), одержимо вибіркові значення характеристик дрейфу МХ ЗВТ:

$$\bar{m}(t_i, x) = \Delta(x) \frac{(\lambda_3 - \lambda_1)[2\lambda_2(1 + \lambda_1\lambda_3) - (1 + \lambda_2^2)(\lambda_1 + \lambda_3)]}{[2\lambda_1\lambda_3 - \lambda_2(\lambda_1 + \lambda_3)]^2 - [2\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_3)]^2},$$

$$\bar{\sigma}(t_i, x) = 2\Delta(x)e^{\bar{R}(t_i, x)} \times$$

$$\times \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_3 + \lambda_2)}{[2\lambda_1\lambda_3 - \lambda_2(\lambda_1 + \lambda_3)]^2 - [2\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_3)]^2};$$

$$\bar{U}(t_i, x) = \frac{2\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_3)}{\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\lambda_3 - 2\lambda_1\lambda_3};$$

$$\bar{R}(t_i, x) = f[\bar{U}(t_i, x)], \quad \lambda_j = \bar{\gamma}_j(t_i, x), \quad j=1, 2, 3.$$

Далі підбираємо апроксимуючі функції $m(t, x)$, $\sigma(t, x)$ і $\gamma(t, x)$ вигляду:

$$m(t, x) = \sum_{k=0}^{l_m} m_k(x)t^k; \quad \gamma(t, x) = \sum_{k=1}^{l_m} \gamma_k(x)t^k;$$

$$\sigma(t, x) = \sigma(0, x) \exp \left[\sum_{k=1}^{l_m} \tau_{1k}(x)t^k \right].$$

Постійні коефіцієнти $m_k(x)$, $\sigma(0, x)$, $\tau_{1k}(x)$ і $\gamma_k(x)$ підбирають методом найменших квадратів для функцій $m(t, x)$, $\ln \sigma(t, x)$ і $\gamma(t, x)$. При визначенні $\gamma(t, x)$ доцільно спочатку перевірити гіпотезу про нормальний розподіл нестабільності МХ ЗВТ. Найпростіше це зробити за допомогою наближеного критерію значущості $\bar{\gamma}(i\Delta t, x)$ [3]. Відповідно до нього гіпотезу про нормальність розподілу відкинути не можна, і приймаємо, що $\gamma(i\Delta t, x) = 0$, якщо виконується наступна умова $\bar{\gamma}(i\Delta t, x) < \sigma_\gamma$, де σ_γ – середнє квадратичне відхилення розподілу коефіцієнта асиметрії $\gamma(i\Delta t, x)$, що характеризується співвідношенням:

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

3. Якщо при повірці реєструють тільки знак МХ ЗВТ, що визнані не придатними, і альтернативну ознаку придатності кожного ЗВТ, то поступають наступним чином.

Визначимо статистичні ймовірності вигляду:

$$\bar{p}_1(t_i, x) = \text{Pr obability} \{ \xi(t_i, x) < -\Delta(x) \};$$

$$\bar{p}_2(t_i, x) = \text{Pr obability} \{ \xi(t_i, x) < \Delta(x) \},$$

і відповідні їм квантилі $\bar{\lambda}_1(t_i, x)$ й $\bar{\lambda}_2(t_i, x)$ із співвідношень:

$$\frac{-\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_1(t_i, x); \quad \frac{\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_2(t_i, x),$$

знаходимо статистичні оцінки нестабільності ЗВТВП у точці x діапазону вимірювань:

$$\bar{m}(t_i, x) = -\Delta(x)\bar{\lambda}_1(t_i, x) + \bar{\lambda}_2(t_i, x) / (\bar{\lambda}_2(t_i, x) - \bar{\lambda}_1(t_i, x));$$

$$\bar{\sigma}(t_i, x) = 2\Delta(x) / (\bar{\lambda}_2(t_i, x) - \bar{\lambda}_1(t_i, x)).$$

Підбираємо апроксимуючі функції $m(t, x)$ й $\sigma(t, x)$. Через обмеженість інформації про результати повірок приймаємо $\gamma(t, x) = 0$.

4. Якщо при повірці реєструють тільки альтернативну ознаку придатності ЗВТ у повіряємій точці діапазону, то приймаємо, що

$$\sigma(0, x) = \Delta(x) / 3 \quad \text{й} \quad \gamma(t, x) = 0.$$

Далі приймаємо допущення про симетричність щодо нуля розподілу МХ ЗВТ і для кожних t_i і x ,

відповідно до виразу $\tau_1 = \frac{1}{t} \ln \left[\frac{\Delta}{\lambda_{0,5[1-P(t)]}\sigma(0)} \right]$ зна-

ходимо $\bar{\eta}(t_i, x) = \frac{1}{t_i} \ln \left[\frac{3}{\lambda_{0,5[1+\bar{p}(t_i, x)]}} \right]$, де $\bar{p}(t_i, x)$ –

статистична ймовірність придатності ЗВТ у момент t_i у точці x діапазону, що визначена за результатами повірок. За значеннями функції $\bar{\tau}(t_i, x)$ підбираємо апроксимуючу функцію $\tau_1(t, x)$. Приймаємо допущення про незмінність у часі $\sigma(t, x)$ й за аналогією

з формулою $m_1(\tau) = \frac{\Delta - \lambda_{P(t)}\sigma(0)}{t}$ знаходимо

$$\bar{p}(t_i, x) = \Delta(x) \left[1 - \frac{1}{3} \lambda_{p(t_i, x)} \right],$$

де $\lambda_{p(t)}$ – 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.

Підбираємо апроксимуючу функцію $m(t, x)$. Далі визначаємо два значення МПІ, що відповідають допущенням про лінійний процес дрейфу МХ ЗВТ, і мінімальне з них приймаємо в якості нового МПІ.

Найбільш перспективним способом коректування МПІ ЗВТ представляється призначення індивідуальних МПІ для кожного ЗВТ на основі накопиченої інформації про поведінку його МХ і середніх по групі характеристиках нестабільності ЗВТВП. Він дозволяє найбільш повно врахувати якість виготовлення й особливості експлуатації кожного ЗВТ, що проявляються в характері дрейфу його МХ. Точний прогноз часу виникнення метрологічних відмов дозволив би вчасно відправляти ЗВТ у ремонт, тобто, різко підвищити їх МН при одночасному скороченні обсягів повірочних робіт. Для широкого впровадження в повірочну практику розглянутого підходу необхідне виконання двох умов: по-перше, масова комп'ютеризація вимірювань, що дозволить створити автоматизовані бази даних про результати перевірок і калібрувань; по-друге, розробка ефективних теоретичних моделей прогнозування моментів виникнення метрологічних відмов ЗВТ, що сполучать елементи індивідуальної екстраполяції траєкторій дрейфу МХ із імовірнісними оцінками групових характеристик нестабільності ЗВТ. Слід зазначити, що індивідуальна екстраполяція застосовується досить часто, наприклад, при визначенні термінів перевірки високоточних мір. Звичайно вона полягає в лінійній екстраполяції нестабільності за заданий час. Ці рекомендації надзвичайно прості: наприклад, якщо нестабільність міри за кілька попередніх інтервалів не перевищила половини межі допустимої нестабільності, то передбачається, що можна збільшити МПІ у два рази. Для унікальних ЗВТ (наприклад, первинних і вторинних еталонів) і взагалі ЗВТ, що випускаються малими

партіями, застосування запропонованої методики коригування міжповірочних інтервалів відповідно до умов їх експлуатації досить виправдане [4].

Але, як показало експериментальне впровадження, не врахування розробленої методики для всіх зразків ЗВТ, тобто, ігнорування випадкових коливань швидкості дрейфу МХ ЗВТ при призначенні індивідуальних МПІ серійних ЗВТ, може привести до серйозних прорахунків. При цьому до експлуатації можуть бути допущені несправні ЗВТ (у яких буде присутня скрита, метрологічна відмова).

Висновки

В статті обґрунтовано, що первинний міжповірочний інтервал засобів вимірювальної техніки військового призначення, який визначений розробником, необхідно коригувати для більш ефективного їх використання в процесі експлуатації.

Запропонована методика дозволяє коригувати міжповірочні інтервали засобів вимірювальної техніки військового призначення на основі накопиченої інформації про поведінку їх метрологічних характеристик за допомогою індивідуального прогнозування моментів виникнення метрологічних відмов, при цьому враховуються реальні умови експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення.

Список літератури

1. Кудрицкий В.Д. Прогнозирование надежности радиоэлектронных устройств. – К.: Техника, 1973. – 156 с.
2. Кудрицкий В.Д., Дятлов Г.И., Педько А.В. Определение межповерочных интервалов с учетом фактического состояния средств измерений // Измерительная техника. – 1983. – № 8. – С. 18-20.
3. Яковлев М.Ю. Метрологическая надёжность средств измерительной техники // Зб. наук. пр. Нац. техн. ун-та "ХПИ". – Вып. 37. – X., 2005. – С. 187-191.
4. Яковлев М.Ю. Теоретические аспекты вопроса об установлении межповерочных интервалов средств измерительной техники // Зб. наук. пр. Нац. техн. ун-та "ХПИ". – Вып. 24. – X., 2005. – Вып. 24. – С. 257-261.

Надійшла до редколегії 19.08.2008

Рецензент: канд. техн. наук, доцент В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Ю.А. Фтемов, М.Ю. Яковлев

Показано, что определение первичного межповерочного интервала средств измерительной техники, который рекомендуется разработчиками, необходимо корректировать в процессе их эксплуатации для более эффективного их использования. Предложена методика определения межповерочных интервалов средств измерительной техники в соответствии с условиями их эксплуатации, которая базируется на назначении индивидуального межповерочного интервала для каждого средства измерения на основе накопленной информации о поведении его метрологических характеристик.

Ключевые слова: межповерочный интервал, метрологические характеристики, метрологическая надежность.

DETERMINATION OF INTERVALS OF INTERTESTS OF FACILITIES OF MEASURING TECHNIQUE

Yu.A. Ftemov, M.Yu. Yakovlev

It is shown that determination of primary intertest interval of facilities of measuring technique, which is recommended developers, it is necessary to correct in the process of their exploitation for their more effective use. The method of determination of intervals of intertests of facilities of measuring technique is offered in accordance with their external which is based on setting of individual intertest interval for every mean of measuring on the basis of the accumulated information about the conduct of his metrological descriptions environments.

Keywords: intertest interval, metrological descriptions, metrological reliability, facilities of measuring technique.