

УДК 629.78.3

С.В. Герасимов<sup>1</sup>, Ю.О. Фтемов<sup>2</sup>, М.Ю. Яковлев<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Львівський орден Червоної Зірки інститут Сухопутних військ

ім. гетьмана П. Сагайдачного Національного університету "Львівська політехніка", Львів

## КОРИГУВАННЯ МІЖПОВІРОЧНИХ ІНТЕРВАЛІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Показано, що призначений (первинний) міжповірочний інтервал засобів вимірювальної техніки військового призначення, що рекомендується розробниками, необхідно коригувати в процесі їх експлуатації для більш ефективного їх використання. Запропонована методика коригування міжповірочних інтервалів засобів вимірювальної техніки військового призначення 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, засоби вимірювальної техніки військового призначення.

### Вступ

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

**Аналіз публікацій** Питанню визначення МПІ ЗВТВП присвячено декілька робіт, наприклад [1–6]. Проте вони не враховують специфіки експлуатації окремих ЗВТВП, особливо, з комплектів 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.

### Викладання основного матеріалу

Об'єктивну інформацію про нестабільність або метрологічну надійність (МН) ЗВТВП, необхідну для проведення коригувань МПІ, дають періодичні повірки засобів вимірювань. Для цієї мети результати повірок ЗВТВП являють собою ідеальну інформацію. З одного боку, вони відбивають не тільки конструктивні особливості ЗВТВП, але й індивідуальні властивості й специфіку експлуатації кожного засобу (інтенсивність експлуатації ЗВТВП, кліматичні й механічні впливи на ЗВТВП, якість обслуговування ЗВТВП, кваліфікація персоналу, умови транспортування на повірку ЗВТВП 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 ЗВТВП відповідно до умов їх експлуатації.

На першому етапі створюється база даних про результати повірок ЗВТВП, для чого необхідно, на-

самперед, виділити групи однорідних об'єктів. До них будуть належати ЗВТВП 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 ЗВТВП: позначення типу, найменування заводу-виробника, рік випуску з виробництва й заводський номер, номер та найменування військової частини, що експлуатує ЗВТВП, 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 ЗВТВП з виробництва або ремонту, з урахуванням умов експлуатації ЗВТВП.

Далі проводять статистичну обробку згрупованих результатів повірок ЗВТВП, методика якої залежить від способу їхньої реєстрації.

1. Якщо при повірці реєструють значення МХ кожного ЗВТВП, статистичну обробку проводять так само, як при проведенні випробувань на нестабільність.

2. Якщо при повірці ЗВТВП реєструють тільки знак значення МХ (плюс або мінус) і альтернативну ознаку – придатним або непридатним є ЗВТВП у кожній повіряємій точці діапазону, поступають наступним чином. Визначають статистичні ймовірності знаходження МХ ЗВТВП  $\xi$  точки  $x$  діапазону у відповідній області значень:

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

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

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

Цим ймовірностям відповідають вибіркові значення квантилів нормального розподілу:

$$\bar{\lambda}_1 = (t_i, x);$$

$$\bar{\lambda}_2 = (t_i, x);$$

$$\bar{\lambda}_3 = (t_i, x).$$

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 співвідношення:

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

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

$$\frac{-\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x) + \bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)}\bar{U}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)} - [\Delta(x) + \bar{m}(t_i, x)]\bar{U}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_1(t_i, x); \quad (3)$$

$$\frac{-\bar{m}(t_i, x) + \bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)}\bar{U}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)} - \bar{m}(t_i, x)\bar{U}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_2(t_i, x); \quad (4)$$

$$\frac{\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x) + \bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)}\bar{U}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)} + [\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x)]\bar{U}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_3(t_i, x). \quad (5)$$

Четвертим рівнянням є відома залежність:

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

Після розв'язку рівнянь (3-5), одержимо вибіркові значення характеристик дрейфу МХ ЗВТВП:

$$\begin{aligned} \bar{m}(t_i, x) &= \\ &= \Delta(x) \frac{(\lambda_3 - \lambda_1)[2\lambda_2(1 + \lambda_1\lambda_3) - (1 + \lambda_2^2)(\lambda_1 + \lambda_3)]}{[2\lambda_1\lambda_3 - \lambda_2(\lambda_1 + \lambda_3)]^2 - [2\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_3)]^2}, \\ \bar{\sigma}(t_i, x) &= 2\Delta(x)e^{\bar{R}(t_i, x)} \times \\ &\times \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_3 + \lambda_2)}{[2\lambda_1\lambda_3 - \lambda_2(\lambda_1 + \lambda_3)]^2 - [2\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_3)]^2}; \\ \bar{U}(t_i, x) &= \frac{2\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_3)}{\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\lambda_3 - 2\lambda_1\lambda_3}; \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

Постійні коефіцієнти  $m_k(x)$ ,  $\sigma(0, x)$ ,  $\Gamma_{1k}(x)$  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 ЗВТВП. Найпростіше це зробити за допомогою наближеного критерію значущості  $\bar{\gamma}(i\Delta t, x)$  [6]. Відповідно до нього гіпотезу про нормальність розподілу відкинути не можна, і приймаємо, що  $\gamma(i\Delta t, x) = 0$ , якщо виконується така умова:

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

де  $\sigma_\gamma$  – середнє квадратичне відхилення розподілу коефіцієнта асиметрії  $\gamma(i\Delta t, x)$ , що характеризується співвідношенням:

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

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

Визначимо статистичні ймовірності вигляду:

$$\begin{aligned} \bar{p}_1(t_i, x) &= \overline{\text{Pr obability}}\{\xi(t_i, x) < -\Delta(x)\}; \\ \bar{p}_2(t_i, x) &= \overline{\text{Pr obability}}\{\xi(t_i, x) < \Delta(x)\}, \end{aligned}$$

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

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

знаходимо статистичні оцінки нестабільності ЗВТВП у точці  $x$  діапазону вимірювань:

$$\begin{aligned} \bar{m}(t_i, x) &= -\Delta(x) \frac{\bar{\lambda}_1(t_i, x) + \bar{\lambda}_2(t_i, x)}{\bar{\lambda}_2(t_i, x) - \bar{\lambda}_1(t_i, x)}; \\ \bar{\sigma}(t_i, x) &= \frac{2\Delta(x)}{\bar{\lambda}_2(t_i, x) - \bar{\lambda}_1(t_i, x)}. \end{aligned}$$

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 ЗВТВП у повіряємій точці діапазону, то приймаємо, що:

$$\begin{aligned} \sigma(0, x) &= \frac{\Delta(x)}{3}; \\ \gamma(t, x) &= 0. \end{aligned}$$

Далі приймаємо допущення про симетричність щодо нуля розподілу МХ ЗВТВП і для кожних  $t_i$  і  $x$ , відповідно до виразу:

$$r_1 = \frac{1}{t} \ln \left[ \frac{\Delta}{\lambda_{0,5[1-P(t)]}\sigma(0)} \right]$$

знаходимо:

$$\bar{r}_1(t_i, x) = \frac{1}{t_i} \ln \left[ \frac{3}{\lambda_{0,5[1+\bar{p}(t_i, x)]}} \right],$$

де  $\bar{p}(t_i, x)$  – статистична ймовірність придатності ЗВТВП у момент  $t_i$  у точці  $x$  діапазону, що визначена за результатами повірок.

За значеннями функції  $\bar{r}_1(t_i, x)$  підбираємо апроксимуючу функцію  $r_1(t, x)$ . 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

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

де  $\lambda_{P(t)}$  – квантиль нормального розподілу, що відповідає ймовірності  $P(t)$ ;  $t$  – час, за який нормується ймовірність  $P(t)$ ;  $\Delta$  – межа допустимих значень МХ (або нестабільності МХ) ЗВТВП.

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

Найбільш перспективним способом коректування МПІ ЗВТВП представляється призначення індивідуальних МПІ для кожного ЗВТВП на основі накопиченої інформації про поведження його МХ і середніх по групі характеристик нестабільності ЗВТВП. Він дозволяє найбільш повно врахувати якість виготовлення й особливості експлуатації кожного ЗВТВП, що проявляються в характері дрейфу його МХ.

Точний прогноз часу виникнення метрологічних відмов дозволив би вчасно відправляти ЗВТВП 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 повірок і калібрувань; по-друге, розробка ефективних теоретичних моделей прогнозування моментів виникнення метрологічних відмов ЗВТВП, що сполучать елементи індивідуальної екстраполяції траєкторій дрейфу МХ із імовірнісними оцінками групових характеристик нестабільності ЗВТВП. Слід зазначити, що індивідуальна екстраполяція застосовується досить часто, наприклад, при визначенні термінів повірки високоточних мір. Звичайно вона полягає в лінійній екстраполяції нестабільності за заданий час.

Рекомендації, що одержані таким способом, 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 ЗВТВП (наприклад, первинних і вто-

ринних еталонів) і взагалі ЗВТВП, що випускаються малими партіями, застосування запропонованої методики коригування міжповірочних інтервалів відповідно до умов їх експлуатації досить виправдане [7].

Але, як показало експериментальне впровадження, не врахування розробленої методики для всіх зразків засобів вимірювальної техніки військового призначення, тобто, ігнорування випадкових коливань швидкості дрейфу МХ ЗВТВП при призначенні індивідуальних МПІ серійних ЗВТВП, може привести до серйозних прорахунків.

При цьому до експлуатації можуть бути допущені несправні ЗВТВП (у яких буде присутня скрита, метрологічна відмова).

### Висновки

В статті обгрунтовано, 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. Руководство по определению межповерочных интервалов средств измерений, используемых в испытательных лабораториях: международный документ № 10 МОЗМ. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 6 с.
2. Кудрицкий В.Д. Прогнозирование надежности радиоэлектронных устройств / В.Д. Кудрицкий. – К.: Техника, 1973. – 156 с.
3. Гуревич Ю.З. Методика расчета индивидуальных поверок большого парка средств измерений / Ю.З. Гуревич, Е.И. Король, Н.В. Кучина, П.В. Новицкий // Метрология. – 1977. – № 10. – С. 44-47.
4. Кудрицкий В.Д. Определение межповерочных интервалов с учетом фактического состояния средств измерений / В.Д. Кудрицкий, Г.И. Дятлов, А.В. Педько // Измерительная техника. – 1983. – № 8. – С. 18-20.
5. Герасимов С.В. Особенности метрологического zabezпечення озброєння та військової техніки в умовах зростання ймовірності їх відмов / С.В. Герасимов, Г.Б. Черепенников, І.Є. Бакулін // Системи озброєння та військова техніка. – 2007. – № 1 (9). – С. 22-25.
6. Яковлев М.Ю. Метрологическая надёжность средств измерительной техники / М.Ю. Яковлев // 36. наук. пр. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – Вып. 37. – Х., 2005. – С. 187-191.
7. Яковлев М.Ю. Теоретические аспекты вопроса об установлении межповерочных интервалов средств измерительной техники / М.Ю. Яковлев // 36. наук. пр. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – Вып. 24. – С. 257-261.

Надійшла до редколегії 27.01.2009

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

### КОРРЕКТИРОВАНИЕ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С.В. Герасимов, Ю.А. Фтемов, М.Ю. Яковлев

Показано, что назначенный (первичный) межповерочный интервал средств измерительной техники военного назначения, который рекомендуется разработчиками, необходимо корректировать в процессе их эксплуатации для более эффективного их использования. Предложена методика корректирования межповерочных интервалов средств измерительной техники военного назначения 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, средства измерительной техники военного назначения.

### THE CORRECTION OF INTERCHECKING PERIODS OF MEASURING EQUIPMENT FACILITIES OF MILITARY PURPOSE

S.V. Gerasimov, Yu.O. Ftemov, M.Yu. Yakovlev

It is shown the appointed (primary) intertest interval of facilities measuring equipment of military purpose, which is recommended by developers, it is necessary to correct in the process of their operation for their more effective use. The method of adjustment of intertest intervals of facilities of measuring technique of military-oriented 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 metrology descriptions environments.

**Keywords:** intertest interval, metrology descriptions, metrology reliability, facilities of measuring technique of military-oriented.