

УДК 681.3, 519.71

М.Ю. Яковлев¹, С.В. Герасимов², С.І. Клівець²¹Львівський інститут Сухопутних військ імені гетьмана П. Сагайдачного, Львів²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРАТЕГІЙ ПОВІРКИ НА МЕТРОЛОГІЧНУ НАДІЙНІСТЬ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті наведені способи повірки засобів вимірювальної техніки військового призначення в процесі експлуатації, проведено аналіз впливу відомих способів повірки на метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки військового призначення. Визначення основних характеристик цього впливу та подальша їх компенсація дозволить підвищити ефективність експлуатації складних технічних комплексів військового призначення за рахунок своєчасного виявлення несправних засобів і прогнозування їх реального технічного стану.

похибка, засоби вимірювальної техніки військового призначення, метрологічна надійність

Вступ

Постановка проблеми. В процесі експлуатації метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП) піддаються різним змінам. Ці зміни носять випадковий характер і приводять до відмов, тобто до неможливості ЗВТВП виконувати свої функції [1 – 3].

Поступова зміна метрологічних характеристик ЗВТВП дозволяє ввести як бажано багато працездатних станів з різним рівнем ефективності їх функціонування, обумовленим ступенем наближення їх метрологічних характеристик до допустимих граничних значень. Це приводить до необхідності розробки спеціальних методів аналізу метрологічної надійності ЗВТВП.

Аналіз публікацій. Питанню дослідження законів розподілу характеристик надійності ЗВТВП присвячене велике число робіт, наприклад [4 – 6]. Проте вони не враховують специфіки метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки в цілому і, особливо, з комплектів складних технічних комплексів військового призначення, що, у свою чергу, приводить до неможливості визначення достовірних параметрів експлуатації ЗВТВП. А це може негативно позначитися на процесі експлуатації складних технічних комплексів військового призначення.

Мета статті. В статті вирішується актуальна наукова задача, пов'язана з проведенням аналізу впливу відомих способів повірки на метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки військового призначення. Визначення основних характеристик цього впливу та подальша їх компенсація дозволить підвищити ефективність експлуатації складних технічних комплексів військового призначення за рахунок своєчасного виявлення несправних ЗВТ і прогнозування їх реального технічного стану.

Основна частина

Переважає більшість ЗВТВП, як і ЗВТ в загалом, в процесі експлуатації піддаються періодичним

повіркам, що проводяться з метою перевірки їх метрологічної справності. Повіркою є метрологічна операція, що полягає в оцінці придатності ЗВТВП до застосування на підставі контролю відповідності встановленим вимогам його метрологічних (МХ), що визначаються експериментально. Результати повірки ЗВТВП, визнаних придатними, оформляються видачею свідоцтва про повірку або іншими способами. При цьому для ЗВТВП, що підлягають державному метрологічному нагляду, встановлюється період часу T , так званий міжповірочний інтервал (МПІ), протягом якого дозволено його застосування [1, 4, 7].

Як правило, перевірка технічного стану та метрологічної справності ЗВТВП проводиться одним з наступних способів [3]:

1. Проведенням калібрувальних робіт для всіх ЗВТВП, що поступають на повірку.

2. Визначенням придатності до застосування по нормах стабільності всіх ЗВТВП, що поступили на повірку, забракування нестабільних ЗВТВП і проведення регулювання останніх.

3. Визначення придатності до застосування по нормах точності всіх ЗВТВП, що поступили на повірку.

Проаналізуємо вплив всіх способів повірки на метрологічну надійність ЗВТВП.

Калібрування полягає у встановленні дійсних значень мір або визначенні градуовальних характеристик ЗВТВП. Якщо є технічна можливість, нові значення МХ, визначені при калібруванні, наносяться на ЗВТВП (наприклад, міняють шкалу приладу) або вносять відповідні поправки до програми обробки результатів вимірювань вбудованим в ЗВТВП мікропроцесором. Якщо такої можливості немає, припускається віддзеркалення результатів калібрування в експлуатаційній документації.

Як випливає з попереднього викладу, метрологічна надійність ЗВТВП обумовлена двома його властивостями: початковою точністю і нестабільністю. Початкова точність ЗВТВП, що характеризується значенням середньої нестабільності $m(0)$ і середнє

квадратичного відхилення (СКВ) $\sigma(0)$ розкиду значень MX , повністю визначається точністю їх калібрування, тобто методичною і інструментальною складовими похибки вимірювань MX при повірці. Оскільки вимоги до еталонів і методики повірки встановлені стандартами, то параметри $m(0)$ і $\sigma(0)$ не залежать від порядкового номера повірки, якій піддається ЗВТВП. Таким чином, при калібруванні відбувається відновлення початкової точності ЗВТВП. Але цього не можна сказати про нестабільність ЗВТВП. Інтенсивність дрейфу MX $\mu(t, \xi)$ залежить від віку t ЗВТВП. Тому, якщо вивчається надійність ЗВТВП в інтервалі $[iT, (i+1)T]$ між i -ю і $(i+1)$ -ю повірками, слід вирішувати задачу за початкових умов $m(0)$, $\sigma(0)$ і інтенсивності дрейфу $\mu(iT + t, \xi)$, де t – час, що пройшов після останньої повірки ЗВТ.

При другому способі повірки спочатку оцінюється нестабільність MX всіх ЗВТВП за останній МПП:

$$\xi_i(T) = x_i(T) - x_i(0), \quad (1)$$

де $x_i(T)$ і $x_i(0)$ – значення MX в кінці і початку останнього МПП. Якщо виконується умова $-\Delta \leq \xi_i \leq \Delta$ (де Δ – межа припустимої нестабільності MX) ЗВТВП визнається придатним, якщо не виконується – ЗВТВП бракується та/або переводиться в нижчий клас точності, або списується (тут реалізується принцип спадковості дрейфу MX : чим більше був дрейф MX у минулому, тим вище ймовірність його значної нестабільності в майбутньому).

Потім ЗВТВП, визнані придатними, калібрують також, так і при першому способі повірки. Цей спосіб повірки є ще жорсткішим, ніж перший. В принципі, він забезпечує найвищу якість повірки в порівнянні з іншими способами. Застосовується він достатньо широко, як правило, при повірці робочих еталонів вищих розрядів і інших точних ЗВТ, похибки яких в значній мірі обумовлюються їх нестабільністю. Вплив цього способу повірки на метрологічну надійність ЗВТВП двоякий. По-перше, відбувається періодичне відновлення початкової точності ЗВТВП. По-друге, за рахунок виключення нестабільних у минулому екземплярів підвищується стабільність ЗВТВП, що знаходяться в експлуатації. Оцінимо цей ефект для ЗВТВП з лінійною інтенсивністю дрейфу.

Після виключення нестабільних ЗВТВП після першої повірки середня нестабільність ЗВТВП, що залишилися, дорівнює:

$$m^*(T) = \frac{1}{P_{mc}(T)} \int_{-\Delta}^{\Delta} \xi \varphi_T(\xi) d\xi = m(T) - \sigma(T)p(T), \quad (2)$$

де $p(T)$ – функція, що характеризується виразом

$$p(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}P_{mc}(T)} \left[e^{-\frac{(\Delta-m(T))^2}{2\sigma^2(T)}} - e^{-\frac{(\Delta+m(T))^2}{2\sigma^2(T)}} \right], \quad (3)$$

а дисперсія нестабільності:

$$[\sigma^*(T)]^2 = \sigma^2(T)[1 - p^2(T) - q(T)], \quad (4)$$

де $q(T)$ – функція, що характеризується виразом:

$$q(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}P_{mc}(T)} \left[\frac{\Delta - m(T)}{\sigma(T)} \exp\left(-\frac{(\Delta - m(T))^2}{2\sigma^2(T)}\right) + \frac{\Delta + m(T)}{\sigma(T)} \exp\left(-\frac{(\Delta + m(T))^2}{2\sigma^2(T)}\right) \right]. \quad (5)$$

Після виключення нестабільних ЗВТВП після i -ої повірки середня нестабільність $m_i^*(T)$ і СКВ нестабільності $\sigma_i^*(T)$ сукупності ЗВТВП визначаються формулами:

$$m_i^*(T) = m(T) - \sum_{j=1}^i \sigma_{j-1}^*(T) p_j(T), \quad i = 1, 2, \dots; \quad (6)$$

$$[\sigma_i^*(T)]^2 = \sigma^2(T) \prod_{j=1}^i [1 - p_j^2 - q(T)], \quad (7)$$

де $\sigma_0^*(T) = \sigma(T)$, $p_1(T) = p(T)$, $q_1(T) = q(T)$, $p_j(T)$ і $q_j(T)$ – величини, що визначаються аналогічно залежностям (3), (5), в яких замість $m(T)$ слід підставити:

$$m_i(T) = m(T) - \int_{(i-1)T}^{iT} m'(t) dt = m(iT) - m((i-1)T),$$

а замість $\sigma(T)$ – $\sigma_i(T)$, що визначається як

$$\sigma_i(T) = \sigma(0) \exp\left(\int_{(i-1)T}^{iT} r_1(t) dt\right) = \frac{\sigma(iT)}{\sigma((i-1)T)}.$$

Зміна характеристик нестабільності сукупності ЗВТВП із-за відбракування нестабільних екземплярів є не дуже істотною. Врахуємо, що МПП повинен бути таким, щоб частка ЗВТВП, забракованих по нормах стабільності, була незначною (інакше дуже зменшується кількість ЗВТВП даного класу точності, оскільки ЗВТВП, забраковані по нестабільності, як правило, не підлягають відновленню із збереженням класу точності). Тому для таких ЗВТВП $P_{mc}(T)$ близька до 1. Хай, наприклад $P_{mc}(T) = 0,95$, тоді із співвідношень (3) і (5) легко отримати, що при цьому $p(T) \leq 0,1$, $q(T) \leq 0,2$ і, отже $\sigma^*(T) \geq 0,9\sigma(T)$.

Далі, з урахуванням виразу (7) отримаємо:

$$m_i^*(T) \geq m(T) - 0,1\sigma(T) \sum_{j=0}^i 0,9^j; \quad \sigma_i^*(T) \geq \sigma(T) \cdot 0,9^i.$$

Отже, якщо за період експлуатації ЗВТВП проводиться 10 періодичних повірок, то в середньому:

$$m_{сер}^*(T) \geq m(T) - 0,1\sigma(T) \cdot 0,1 \sum_{j=0}^9 0,9^j \geq m(T) - 0,37\sigma(T);$$

$$\sigma_{сер}^*(T) \geq \sigma(T) \cdot 0,1 \sum_{i=0}^9 0,9^i \geq 0,7\sigma(T).$$

Видно, що підвищення стабільності всієї сукупності ЗВТВП порівняно невелике. Тому воно може не враховуватися в практичних розрахунках. Такий

підхід тим більше обґрунтований, що він дає оцінки метрологічної надійності ЗВТВП знизу. Третій спосіб повірки, типовий для основної маси ЗВТВП, полягає в наступному. Контролюють відповідність МХ встановленим нормам, тобто перевіряють виконання умов $-\Delta_i(x_j) \leq \xi_i(T, x_j) \leq \Delta_i(x_j)$ для всіх МХ, що визначають метрологічну справність ЗВТВП, у всіх нормованих точках x_j діапазону вимірювань. ЗВТВП, що не задовольняють хоч би одній з цих умов, бракують і відправляють в ремонт або наново калібруються. ЗВТВП, відповідні всім встановленим нормам, визнаються придатними і без всяких змін (настройок, регулювань і так далі) прямують назад в експлуатацію. Фактично при цьому способі повірки ніякого відновлення метрологічної справності або підвищення точності ЗВТВП, визнаних придатними, не відбувається. Ці ЗВТВП залишаються після повірки такими самими, якими вони були до неї. Підвищення надійності результатів повірки при цьому способі часто досягається введенням спеціальних контрольних допусків, менших (по абсолютному значенню) встановлених меж припустимих значень МХ Δ . При цьому ЗВТВП визнаються придатними, якщо їх МХ задовольняють умові:

$$-\Delta_{ki}(x_j) \leq \xi_i(T, x_j) \leq \Delta_{ki}(x_j).$$

Для проведення подальших досліджень необхідно знати, який вплив на сукупність ЗВТВП роблять повірки цим способом. Відповідь на це питання достатньо проста, проілюструємо її. Третій спосіб повірки означає усікання розподілу значень МХ по межах $\pm \Delta_k$ встановленого поля допуску. Якщо до чергової повірки сукупність ЗВТВП мала густину розподілу значень МХ $\phi_T(\xi)$, $-\infty < \xi < \infty$, то густина розподілу значень МХ ЗВТВП, визнаних при повірці придатними, дорівнює (за умови абсолютних точних вимірювань, що виключають статистичні помилки повірки):

$$\phi_T(\xi) = \begin{cases} \phi_T(\xi)/P_{\text{пр}}(t), & -\Delta_k \leq \xi \leq \Delta_k; \\ 0, & \xi < -\Delta_k, \xi > \Delta_k, \end{cases} \quad (8)$$

де $P_{\text{пр}}(t)$ – ймовірність, $P_{\text{пр}}(t) = \int_{-\Delta_k}^{\Delta_k} \phi_T(\xi) d\xi$.

Вираз (8) показує, що при цьому способі повірки зменшується ймовірність помилкового визнання придатним метрологічно несправного ЗВТВП, та створює гарантовану смугу допустимого дрейфу МХ шириною, яка значно підвищує метрологічну надійність ЗВТВП.

Висновок

В статті проаналізовані способи перевірки технічного стану та метрологічної справності ЗВТВП, визначені достоїнства та недоліки кожного з них. Отримані результати дозволяють вибирати оптимальну стратегію повірки ЗВТВП для забезпечення необхідного рівня їх метрологічної надійності.

Список літератури

1. Кудрицкий В.Д. Прогнозирующий контроль радиоэлектронных устройств. – К.: Техника, 1982. – 168 с.
2. Оценка эффективности и параметрический синтез метрологического обслуживания радиоаппаратуры / Отв. за вып. Е.И. Сычев. – М.: МО СССР, 1984. – 385 с.
3. Основы эксплуатации средств измерений / В.А. Кузнецов, А.Н. Пашков и др. – М.: Радио и связь, 1984. – 184 с.
4. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
5. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. – 1991. – № 11. – С. 3-10.
6. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
7. МИ 187-86, МИ 188-86. Методические указания. ГСИ. Достоверность и требования к методикам поверки средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 39 с.

Надійшла до редколегії 7.03.2008

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

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРАТЕГИЙ ПОВЕРКИ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ НАДЕЖНОСТЬ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Яковлев М.Ю., Герасимов С.В., Клевец С.И.

В статье рассмотрены способы поверки средств измерительной техники военного назначения в процессе эксплуатации, проведен анализ влияния известных способов поверки на метрологическую надежность средств измерительной техники военного назначения. Определение основных характеристик этого влияния и последующая их компенсация позволят повысить эффективность эксплуатации сложных технических комплексов военного назначения за счет своевременного выявления неисправных средств и прогнозирования их реального технического состояния.

Ключевые слова: ошибка, средства измерительной техники военного назначения, метрологическая надежность.

ANALYSIS OF INFLUENCING OF STRATEGIES CHECK ON METROLOGICAL RELIABILITY OF FACILITIES MEASURING TECHNIQUE OF THE MILITARY SETTING

Yakovlev M.Ju., Gerasimov S.V., Klivets S.I.

In the article the methods of check of facilities of measuring technique of the military setting are considered in the process of exploitation, the analysis of influencing of the known methods of check on metrological reliability of facilities of measuring technique of the military setting is conducted. Determination of basic descriptions of this influencing and subsequent their indemnification will allow to promote efficiency of exploitation of difficult technical complexes of the military setting due to the timely exposure of defective facilities and prognostication of their real technical state.

Keywords: error, facilities of measuring technique of the military setting, metrological reliability.