

ЗАДАЧІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Щербак Л. М., Реуцький Є. А.

Національний авіаційний університет

int2080@ukr.net

Розглянуто методику створення метрологічного забезпечення вимірювальних пристроїв на основі визначення їх метрологічного життєвого циклу. Побудовано математичну модель метрологічного забезпечення перевірки вимірювальних пристроїв на основі статистичних методів обробки даних вимірювань.

The method of creation of the metrology providing of measurings devices is considered on the basis of determination of them metrology life cycle. The mathematical model of the metrology providing of verification of measurings devices is built on the basis of statistical methods of treatment of these measurings.

Вступ

Відповідність метрологічним характеристикам та надійність функціонування вимірювальних пристроїв (ВП) є основними вимогами під час проведення вимірювальних експериментів. Дослідження, спрямовані на поліпшення таких характеристик, завжди були пріоритетними в метрології та вимірювальній техніці.

Із практичних і науково-технічних задач в області метрологічного забезпечення ВП виділяють такі: оновлення парку ВП (переважно заміна існуючих пристроїв на пристрої більш високого класу точності); перегляд чинних і розроблення нових нормативних документів; створення автоматизованих систем для діагностики метрологічних характеристик ВП у процесі їх експлуатації; дослідження динаміки зміни метрологічних параметрів і характеристик ВП у широких діапазонах робочих умов застосування; випробування ВП з метою встановлення його міжперевірної інтервалу (МПП).

Аналіз досліджень і публікацій

Проблемі розроблення нового або вдосконалення вже існуючого метрологічного забезпечення ВП присвячено багато вітчизняних та зарубіжних робіт, у тому числі нормативних документів [2—6; 8].

У цілому вони пов'язані з методами коригування МПП, що полягають в аналізі зростаючої складової похибки конкретних екземплярів ВП з можливим подальшим узагальненням на серію таких ВП.

У цій роботі обґрунтовано визначення метрологічного життєвого циклу ВП як вкладеного часового інтервалу в загальний життєвий цикл ВП, методика його обчислення за результатами статистичної обробки даних вимірювань метрологічних характеристик ВП.

Наведено конкретний приклад його обчислення для електролічильників типу *SL 7000*.

Постановка завдання

Обґрунтувати методику визначення метрологічного життєвого циклу ВП на конкретному

прикладі його обчислення для електролічильника за результатами статистичної обробки даних вимірювань випробувань.

Розв'язання завдання

Міжперевірний інтервал є однією з важливих характеристик пристроїв, що встановлюється під час проведення випробувань ВП. Для тільки випущених із заводу ВП програма випробувань не може врахувати всі варіанти застосування ВП в умовах експлуатації. У першу чергу це стосується умов експлуатації ВП, що застосовуються у сфері енергопостачання.

У загальній постановці низка задач метрологічного забезпечення ВП поряд з наведеними вище потребують певної конкретизації, на якій зупинимось більш детально: кожний ВП у процесі експлуатації повинен задовольняти конкретній сукупності метрологічних характеристик, основними з яких є характеристики точності вимірювання параметрів досліджуваних явищ, сигналів.

Відомо, що характеристики ВП описуються випадковими процесами, а при випробуваннях, атестації для фіксованого часу — випадковими величинами; за результатами випробувань визначаються статистичні оцінювання метрологічних характеристик ВП як відповідні характеристики випадкових величин; отримані результати статистичної обробки даних вимірювань характеристик ВП при випробуваннях дають можливість прогнозувати зміни у часі метрологічних характеристик ВП [3].

Основна мета — визначення метрологічного життєвого циклу ВП полягає в обчисленні часового інтервалу відповідності реальних (обґрунтовано-прогнозованих) метрологічних характеристик ВП незмінних початково заданим.

Розв'язання задач визначення метрологічного життєвого циклу ВП зводиться до задачі розрахування часового інтервалу першого перетину метрологічною характеристикою, як траєкторією випадкового процесу, встановленого порога або межі. Така межа визначається межами довірчого інтервалу динаміки значень для кожної характеристики точності ВП [7].

Під час обґрунтування етапів методики визначення метрологічного життєвого циклу електролічильника обрано такі припущення:

- кожна j -та з метрологічних характеристик електролічильника для фіксованих часових моментів випробувань описується випадковою величиною $\xi(\omega), \omega \in \Omega$ з гауссівським законом розподілу $N(a_j, \sigma_j)$, де $a_j = M\{\xi_j(\omega)\}$ — математичне сподівання випадкової величини $\xi_j(\omega)$; $\sigma_j^2 = D\{\xi_j(\omega)\}$ — дисперсія випадкової величини $\xi_j(\omega)$; σ_j — середньоквадратичне відхилення випадкової величини $\xi_j(\omega)$;

- статистична оцінка щільності розподілу даних вимірювань підтверджує статистичну гіпотезу про теоретичний гауссівський розподіл.

Для іншого випадку, негауссівського закону розподілу випадкової величини $\xi_j(\omega)$ етапи методики виконуються в такому самому порядку.

На першому етапі для заданого об'єму n статистик — даних випробувань (x_1, \dots, x_n) як послідовності реалізацій випадкової величини $\xi(\omega)$ при серії n незалежних випробувань обчислюються по відомим формулам статистичні оцінювання a і σ^2 , тобто \hat{a} і $\hat{\sigma}^2$.

$$\hat{a} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}; \quad (1)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \hat{a})^2}{n-1}; \quad (2)$$

Маємо два масиви даних вимірювань: масив А — статистика заводських випробувань $\{x_j, j = \overline{1, 300}\}$ і масив В — статистика випробувань після шести років роботи лічильників при всіх умовах експлуатації $\{y_j, j = \overline{1, 300}\}$. За формулами (1) і (2) визначаємо оцінювання середнього значення та оцінювання дисперсії масивів А і В:

$$\hat{a}_x = -0,029; \quad \hat{b}_y = 0,007;$$

$$\hat{\sigma}_x^2 = 0,96 \cdot 10^{-3}; \quad \hat{\sigma}_y^2 = 0,031;$$

$$\hat{\sigma}_x = 20 \cdot 10^{-3}; \quad \hat{\sigma}_y = 0,141.$$

На рис. 1 і 2 подано відповідно гістограма розподілу даних вимірювань похибок заводських випробувань (масив А) і гістограма випробувань після шести років роботи електролічильників (масив В).

Значення метрологічного життєвого циклу ЕЛ на інтервалі функціонування, включаючи часовий інтервал збереження на складах, ЕЛ на часовому інтервалі $t \in [0, T_\phi)$ визначається в разі виконання такої нерівності

$$|\Delta_T \cdot t| \geq \sum_{j=0}^n K_j \sigma_j H(\tau_j, t) \quad (3)$$

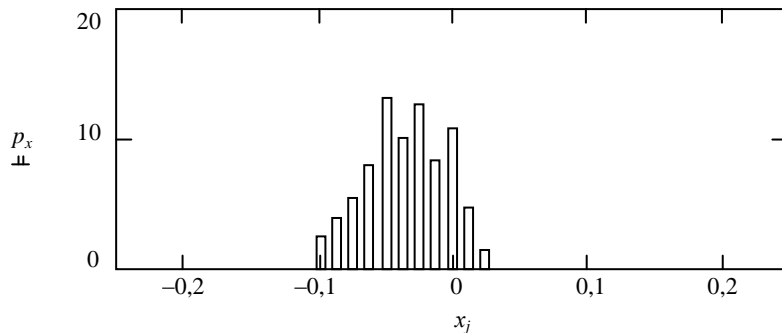


Рис. 1. Гістограма масиву А

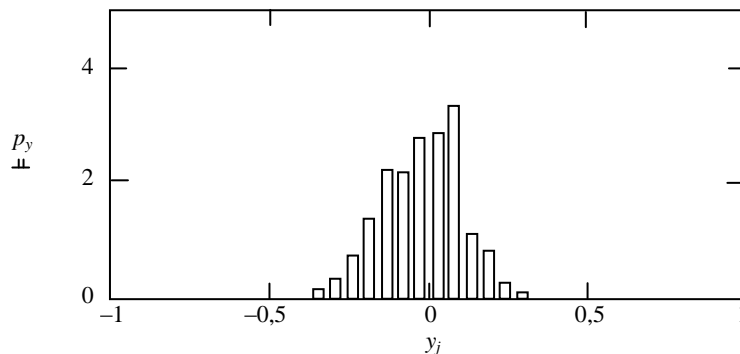


Рис. 2. Гістограма масиву В

У цьому виразі: $\pm\Delta_T$ — клас точності лічильника, що розглядається як довірчий інтервал похибки та відносна максимальна похибка вимірювань за умови, що похибка є випадковою величиною з гауссівським законом розподілу $\xi(\omega)$.

При цьому вважається, що $M\{\xi(\omega)\} = 0$, тобто систематична похибка кожного ЕЛ дорівнює нулю, тобто відсутня (вона коректується для кожного ЕЛ індивідуально — це визначають заводські випробування).

Дисперсія випадкової величини $\xi(\omega)$ дорівнює $D\{\xi(\omega)\} = \sigma^2$, тобто для довірчої ймовірності $P = 0,95$ $|\Delta_T| = 2\sigma$, $K_j \approx 2$ (якщо досліджуваний ВП застосовують у галузі охорони здоров'я, екології, при обліку матеріальних цінностей, або якщо метрологічна відмова ВП може призвести до значних економічних втрат, як довірчу ймовірність беруть $P = 0,997$, тоді $|\Delta_T| = 3\sigma$, $K_j \approx 3$); часові моменти метрологічної перевірки $0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_n$, $\tau_j < t$; σ_j — статистична оцінка дисперсії за партією лічильників, враховуючи всю дію випадкових факторів; $\pm K_j \sigma_j$ — довірчий інтервал, обчислюваний після визначення закону розподілу випадкової величини $\xi(\omega)$; індикаторна функція

$$I(\tau_j, t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t \in [\tau_j, \tau_{j+1}), \tau_j < t, \\ 0, & \text{при } t \notin [\tau_j, \tau_{j+1}). \end{cases}$$

Розглянемо основне завдання цієї роботи — побудову прогнозованого метрологічного життєвого циклу ЕЛ за результатами статистичної обробки даних вимірювань: заводських і повірних. Проведемо статистичний аналіз даних вимірювань на етапі експлуатації лічильників періоду функціонування $T_\Phi = 16$ років, тобто $t \in [0, 16)$.

Визначаємо:

а) оцінку середнього значення даних випробувань

$$K_{\Delta_c} = \frac{\Delta}{6} 16 = 0,096,$$

де $\Delta = \tilde{b}_y - \tilde{a}_x = 0,036$;

б) оцінку дисперсії

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{ab}^2}{6} 16 = 55,56 \cdot 10^{-3},$$

де $\sigma_{ab}^2 = \frac{\hat{\sigma}_b^2}{\hat{\sigma}_a^2} = 20,83 \cdot 10^{-3}$.

На рис. 3 зображено графічну залежність метрологічного життєвого циклу електролічильника типу *SL 7000* за результатами статистичної обробки даних вимірювань заводських ($t = 0$) і повірних ($t = 6$) випробувань при довірчій ймовірності $P = 0,95$.

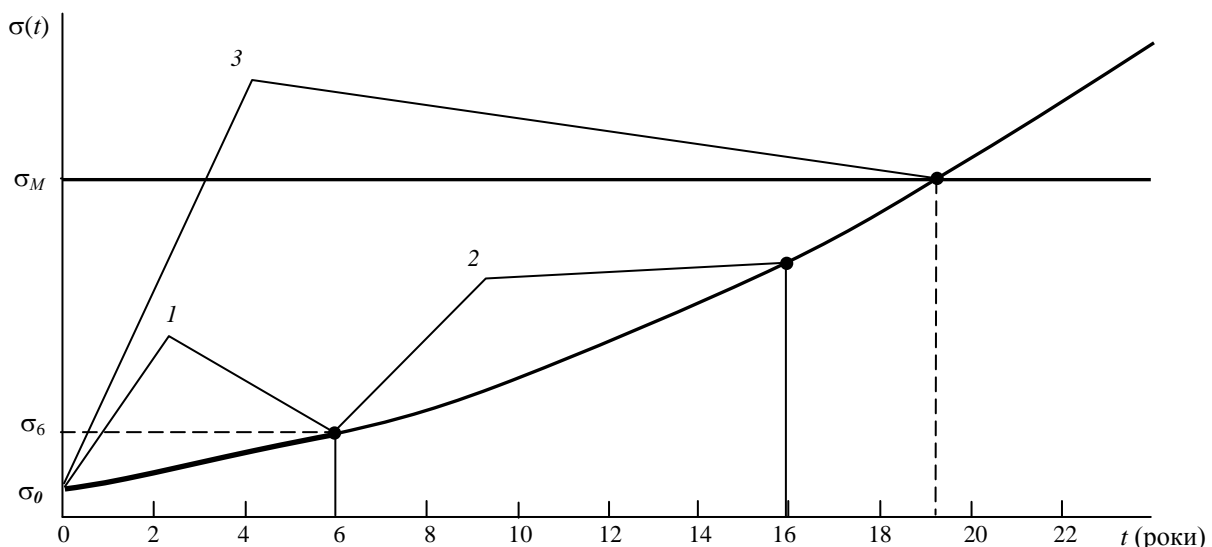


Рис. 3. Графіки поточного і прогнозованого метрологічного життєвого циклу електролічильника типу *SL 7000*:

- 1 — метрологічний життєвий цикл ЕЛ періодом експлуатації шість років;
- 2 — прогнозований метрологічний життєвий цикл ЕЛ періодом експлуатації 16 років;
- 3 — прогнозований повний метрологічний життєвий цикл ЕЛ

Висновки

У статті було запропоновано методику створення метрологічного забезпечення ВП на основі обґрунтування математичної моделі метрологічного життєвого циклу ВП. Розроблено підпрограму для статистичної обробки результатів випробувань ВП, в якій передбачено визначення точкових характеристик випадкових величин, проведення гістограмного аналізу та перевірка гіпотези про закон розподілу даних. У результаті отриманих результатів можна робити прогноз щодо метрологічної надійності і справності досліджуваних ВП. Запропонована у цій роботі методика підтверджена на практиці під час контролю партії лічильників електроенергії типу *SL 7000*.

Також вона може використовуватися для контролю інших ВП і визначення їх метрологічного життєвого циклу, при розробці автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем для підвищення їх точності та достовірності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. — М. : Мир, 1989. — 540 с.

2. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. — К. : Держстандарт України, 1994. — 68 с.

3. ДСТУ 6044:2008. Метрологія. Міжповірочний інтервал засобів вимірювальної техніки. Основні положення та вимоги. — К. : Держстандарт України, 2009. — 10 с.

4. МД № 10 МОЗМ. Руководство по определению межповерочных интервалов средств измерений, используемых в испытательной лаборатории. — М. : Изд-во стандартов, 2002. — 24 с.

5. Новицкий П. В. Динамика погрешностей средств измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф, В. С. Лабунец. — Л. : Энергоатомиздат, 1990. — 192 с.

6. РМГ 74-2004. ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. — М. : Изд-во стандартов, 2005. — 35 с.

7. Тихонов В.И. Выбросы траекторий случайных процессов / В. И. Тихонов, В. И. Хименко. — М. : Наука, 1987. — 306 с.

8. Удовиченко Е.Т. Метрологическое обеспечение измерительных информационных систем (теория, методология, организация) / Е. Т. Удовиченко, А. А. Брагин, А. Л. Семенюк и др. — М. : Изд-во стандартов, 1991. — 192 с.

Стаття надійшла до редакції 25.12.09.