УДК 006.91

ОЦІНКА МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ РОБОЧОГО ЕТАЛОНУ НА ОСНОВІ ЛОГІСТИЧНОЇ МОДЕЛІ З УРАХУВАННЯМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ

Новосьолов О.А.
email: oleh.novosolov@nure.ua
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІВТ
м. Харків, Україна

A method for assessing the metrological reliability of a working standard is proposed, based on the use of a logistic model. Unlike classical exponential models, the logistic model allows taking into account the specifics of the drift of the working standard and the probability of metrological characteristics exceeding the limits established in the technical specification. The method includes determining the model parameters based on experimental data, integrating the measurement uncertainty, and calculating the probability of maintaining the permissible accuracy during the operational period.

Єдність вимірювань досягається шляхом точного відтворення та зберігання встановлених одиниць вимірювання величин за допомогою еталонів і передачі їх розмірів робочим засобам вимірювальної техніки.

Згідно ДСТУ ISO 10012:2005 «Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання» [1], щоб забезпечити відповідність вимірювального обладнання вимогам щодо призначення, необхідно метрологічне підтвердження придатності, яке включає калібрування та верифікацію обладнання. Таким чином, калібрування є процедурою передачі одиниці вимірювання величини, що відтворюється й/або зберігається еталоном, менш точним еталонам або засобам вимірювальної техніки.

Найважливіше значення для випуску якісної продукції є метрологічна надійність вимірювального обладнання, яке застосовується на всіх стадіях виготовлення та контролю виробів. Метрологічна надійність вимірювального обладнання полягає в упевненості щодо збереження його метрологічної справності, тобто, такого стану вимірювального обладнання, за якого всі нормовані метрологічні характеристики відповідають встановленим вимогам.

Слід зазначити, що відмову через непрацездатність вимірювального обладнання легко виявити, в той час як метрологічні відмови, тобто, вихід метрологічної характеристики за нормовані границі, є прихованими і можуть бути виявлені лише при проведенні чергової процедури метрологічного підтверджування вимірювального обладнання.

Метрологічна відмова – це зазвичай не миттєва подія, а поступовий процес (дрейф), до виникнення якого призводить складова похибки від нестабільності робочого еталона. Згідно Міжнародному словнику з метрології (ISO/IEC Guide 99:2007) (VIM3) [2], інструментальний дрейф –

безперервна або ступінчаста зміна показань у часі, спричинена змінами метрологічних властивостей засобу вимірювальної техніки. Інструментальний дрейф не пов’язаний ні зі зміною величини, що вимірюється, ні зі зміною будь-якої виявленої впливової величини.

Метрологічна надійність вимірювального обладнання, зокрема робочих еталонів, є одним із ключових чинників забезпечення єдності вимірювань. У процесі експлуатації метрологічні характеристики робочих еталонів зазнають змін під впливом часу, умов використання та зовнішніх факторів, що може призводити до поступової втрати їх метрологічної придатності [3].

Традиційні методи оцінювання надійності часто базуються на детермінованих моделях і не враховують стохастичний характер зміни похибок та невизначеності вимірювання. У зв’язку з цим актуальним є застосування ймовірнісних моделей, зокрема логістичної, які дозволяють більш адекватно описати процес дрейфу робочого еталону.

В процесі експлуатації робочі еталони можуть перебувати в одному з трьох станів:

1 - працездатному та придатному до застосування;

2 - працездатному, але непридатному до застосування (через метрологічну відмову);

3 - непрацездатному та непридатному до застосування (через відмову).

Виявлення стану «працездатний, але непридатний» (метрологічна відмова) є критично важливим, оскільки це найнебезпечніший стан робочого еталону, що веде до порушення єдності вимірювань.

Експлуатація робочих еталонів пов’язана з можливою зміною їх метрологічних характеристик унаслідок старіння. Періодичне калібрування без аналізу протоколів калібрування не дозволяє прогнозувати вихід похибки робочого еталону за встановлені технічною специфікацією межі.

Метрологічна надійність – це не тільки властивість самого робочого еталону (його дрейфу), а й результат якості процесу калібрування еталону.

Процес зміни похибки робочого еталону у часі його експлуатації є нестаціонарним випадковим процесом. Для опису переходу робочого еталона зі стану «придатний» у стан «метрологічна відмова» доцільно використовувати логістичну модель. Вона визначає можливість збереження працездатності як спадну S-подібну криву. На відміну від експоненціальної моделі, логістична модель краще описує процеси, де ймовірність метрологічної відмови зростає нерівномірно.

Логістична модель дозволяє врахувати:

- період стабільної роботи еталона;

- поступове накопичення дрейфу метрологічних характеристик;

- прискорення втрати точності наприкінці міжкалібрувального інтервалу.

Ймовірність перебування робочого еталону в працездатному стані можна описати логістичною функцією:

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{k_D(t - T_0)}},$$

де:

t – час експлуатації;

k_D – коефіцієнт інтенсивності дрейфу;

T_0 – момент часу, у якому ймовірність метрологічної придатності дорівнює 0,5.

Оскільки метрологічна характеристика розподілена за нормальним законом, а логістичний розподіл є його стійкою апроксимацією, коефіцієнт k_D виражається як:

$$k_D = \frac{\pi \cdot \upsilon}{\sqrt{3} \cdot u_c},$$

де:

υ – середня швидкість дрейфу похибки,

u_c – сумарна стандартна невизначеність вимірювання.

Застосування логістичної моделі з урахуванням невизначеності вимірювання має такі переваги:

- адекватний опис стохастичного характеру дрейфу робочого еталону;
- можливість прогнозування моменту втрати метрологічної придатності робочого еталону;
- підвищення достовірності результатів вимірювань під час калібрування робочого еталону;
- оптимізація витрат на калібрування робочого еталону.

Запропонована логістична модель дозволяє об’єднати показники дрейфу та розширеної невизначеності в єдиний критерій метрологічної надійності. Виведення коефіцієнта інтенсивності дрейфу робочого еталону через середню швидкість дрейфу похибки та сумарну стандартну невизначеність вимірювання забезпечує високу адаптивність моделі.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ ISO 10012:2005. Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання.

2. ISO/IEC Guide 99:2007 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM3).

3. Єгоров А.Б. Основи теорії надійності, контролю та діагностування засобів вимірювальної техніки: навч.посіб. Харків: ХНУРЕ, 2012. 174 с.