

МЕТРОЛОГІЯ, ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

РОЗВИТОК СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

DEVELOPMENT OF SYSTEM OF PROVIDING METROLOGICAL RELIABILITY OF MEASURING INSTRUMENTS

*Микийчук М. М., д-р техн. наук, проф., Лазаренко Н. С., асп.,
Лазаренко С. Л., асп., Різник А. І., асп.*

*Національний університет "Львівська політехніка", Україна
e-mail: mykolamm@ukr.net*

*Mykola Mykyychuk, Dr. Sc., Prof., Nadiya Lazarenko, PhD Student,
Sergii Lazarenko, PhD Student, Anastasiia Riznyk, PhD Student
Lviv Polytechnic National University, Ukraine; e-mail: mykolamm@ukr.net*

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.053>

Анотація. Проаналізовано сучасний стан розвитку метрологічного забезпечення випробувального устаткування та засобів вимірювальної техніки для забезпечення конкурентоздатності продукції, безпеки на виробництві (радіаційної безпеки), отримання об'єктивної діагностичної інформації в медичній практиці. Метрологічне забезпечення – це один із основних етапів виробничого процесу, який впливає на отримання результатів вимірювання та їх якісну оцінку (точності).

Розглянуто перспективи розвитку та вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювань у промисловості. Метрологічне забезпечення вимірювань у промисловості (особливо в атомній енергетиці) повинно вдосконалюватись у напрямку розвитку методів бездемонтажного контролю метрологічної чинності ЗВТ, зокрема і випробувального устаткування, та теорії індивідуального оцінювання метрологічної надійності ЗВТ.

Запропоновано способи забезпечення достовірності результатів вимірювань на прикладі вдосконалення метрологічного забезпечення промислових ЗВТ. Вони полягають у:

- впровадженні методів бездемонтажної метрологічної перевірки та створенні для цього програмно-керованих калібраторів із високою дискретністю відтворення;
- упровадженні в метрологічну практику оцінювання і реєстрування показників метрологічної надійності для ЗВТ;
- розвитку теорії метрологічної надійності в напрямку створення методик об'єктивного оцінювання показника метрологічної надійності конкретного ЗВТ.

Підкреслено необхідність розроблення нових методів оцінки джерел іонізуючого випромінювання, визначення їх місця в контролі технологічних параметрів, що дає змогу підвищити рівень метрологічного забезпечення в атомній енергетиці та медицині. Для забезпечення належної якості діагностичної інформації чи лікувального ефекту необхідно здійснювати регулярний контроль усіх процесів, які беруть участь в етапі дослідження, виконуючи регулярні перевірки технічного стану джерел іонізуючого випромінювання, їх випробування з метою уточнення технічних характеристик та перевірки на герметичність.

Ключові слова: засіб вимірювальної техніки, метрологічне забезпечення, метрологічна надійність, похибка.

Abstract. The current state of development of the metrological provision of measuring equipment for the competitiveness of products, safety at work (radiation safety), obtaining objective diagnostic information in medical practice is analyzed. Metrological support is one of the main steps in the production process that influences the measurement results and their qualitative evaluation.

Prospects of development and improvement of metrological support of measurements in the industry are considered. Improvement of metrological assurance of measurements in industry (especially in nuclear power) should go in the direction of development of methods of dismantling control of metrological serviceability of measuring instruments, including test equipment as well as the theory and practice of individual evaluation of metrological reliability of measuring instruments.

Proposed ways to ensure the accuracy of measurement results in improving the metrological support of industrial measuring instruments are introduction and development of:

- methods of unmanaged metrological verification and creation of program-controlled and highly reproducible calibrators
- evaluation of reliable indicators of measuring instruments into metrological practice;
- methods of objective estimation of the metrological reliability index of specific measuring instruments.

The necessity of development of estimation methods of sources of ionizing radiation, determination of their place in the control of technological parameters is emphasized. This allows for enhancing the level of metrological support in nuclear area and medicine. In order to ensure the proper quality of the diagnostic information or therapeutic effect, it is necessary to carry out regular inspections of technical condition of sources of ionizing radiation, conducting their tests, and to check for leaks.

Key words: measuring instrument, Metrological support, Metrological reliability, Error.

Вступ

Важливою умовою забезпечення конкурентоздатності продукції, безпеки на виробництві (радіаційної безпеки), отримання об'єктивної діагностичної інформації в медичній практиці, особливо під час рентген-діагностики, є забезпечення заданого рівня якості за мінімальних витрат. Для цього необхідно створювати технологічні та вимірювальні процеси із високим ступенем керованості. Керуваність неможливо забезпечити без отримання достовірної інформації про хід відповідного процесу. Достовірну інформацію одержують, застосовуючи (використовуючи) різноманітне випробувальне устаткування (наприклад, джерела іонізуючого випромінювання), засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), вона визначається їх метрологічною надійністю. Метрологічні відмови приховані, їх неможливо виявити в момент їх появи, а отже, брак виробництва або негативні наслідки від використання недостовірної інформації можуть бути недопустимо великими. Тому питання про забезпечення сучасних виробництв, медичних закладів достовірною інформацією про хід вимірювальних процесів актуальне і своєчасне.

Сучасний стан проблеми

Одним із основних факторів, що визначають ефективність застосування випробувального устаткування та ЗВТ, є наявність сучасного метрологічного забезпечення [1]. Останніми роками все помітнішою стає неефективність використовуваних методів оцінювання і контролю точності (похибок, непевності) вимірювального обладнання. Такий стан пояснюється специфікою застосування випробувального устаткування та ЗВТ, яка полягає у тому, що вони експлуатуються в умовах, відмінних від умов їх випробування, калібрування чи метрологічної перевірки, тому виникають додаткові похибки.

Для ЗВТ оцінювання додаткових похибок здійснюють за визначеною під час випробувань залежністю похибки від значення впливового фактора і нормують, як правило, встановленням її гранично допустимого значення. Оцінка сумарної похибки ЗВТ у конкретних умовах застосування визначається як сума основної та додаткових похибок, нормованих для відповідного типу ЗВТ, без урахування метрологічного запасу та напряду дрейфу похибки, який має конкретний засіб. Тому часто метрологічно надійний ЗВТ вилючають із виробничого процесу для проведення його метрологічної перевірки чи калібрування, або метрологічно несправний ЗВТ продовжують експлуатувати, що і в першому, і у другому випадку призводить до невиправданих затрат.

Сьогодні, аналізуючи похибки під час експлуатації ЗВТ, зміну похибки подають у вигляді стаціонарного випадкового процесу $\Delta(t)$ зі сталим

законом розподілу. Завдання аналізу зводиться до пошуку виду цього закону розподілу. За таких умов метрологічно справний стан ЗВТ зберігається доти, доки миттєве значення випадкового процесу зміни похибки залишається в межах інтервалу $[-\Delta_{\text{доп}}, +\Delta_{\text{доп}}]$, а вихід випадкового процесу $\Delta(t)$ за ці межі класифікується як метрологічна відмова.

Неоптимальність такої моделі пояснюється тим, що ймовірність виходу випадкового процесу за межі $\pm\Delta_{\text{доп}}$ приймають однаковою, як на початку його експлуатації, так і через певний відрізок часу його експлуатації [2].

Недолік використовуваних підходів до оцінювання метрологічної надійності ЗВТ, зокрема випробувального устаткування, полягає у неможливості об'єктивного встановлення та нормування показників метрологічної надійності для конкретного приладу. Це, зокрема, виражається у застосуванні узагальнених показників метрологічної надійності через встановлення однакових міжперевірювальних (між-калібрувальних) інтервалів для ЗВТ чи випробувального устаткування, які мають різну метрологічну надійність, для прикладу, через відмінність умов експлуатації (різні впливові фактори: температура, тиск, вологість, радіаційний фон тощо). Зберігається також практика застосування класичної теорії надійності для оцінювання метрологічної надійності ЗВТ, хоча науково доведено [2–3] її неповну адекватність.

Мета роботи

Метою роботи є розроблення методів контролю похибок в умовах експлуатації та оцінювання показників метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки.

1. Вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювань у промисловості

Вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювань у промисловості (особливо в атомній енергетиці) повинно відбуватись в напрямку розвитку методів бездемонтажного контролю метрологічної справності ЗВТ, зокрема випробувального устаткування, та теорії індивідуального оцінювання метрологічної надійності ЗВТ як інструменту встановлення оптимальних міжперевірювальних (між-калібрувальних) інтервалів.

Бездемонтажна метрологічна перевірка (бездемонтажне калібрування) – це процедура контролю похибки (визначення похибки із відповідною невизначеністю) ЗВТ на місці його безпосередньої експлуатації. Переваги бездемонтажної метрологічної перевірки (бездемонтажного калібрування) очевидні: економія затрат на демонтаж ЗВТ та проведення традиційної метрологічної перевірки (калібрування) в умовах спеціалізованої лабораторії, можливість контролю чи визначення похибки в умовах експлуатації ЗВТ.

Основним недоліком бездемонтажної метрологічної перевірки (бездемонтажного калібрування) є складність її реалізації з використанням відомих робочих еталонів та методик. Однак реалізація бездемонтажної метрологічної перевірки (бездемонтажного калібрування) достатньо спрощується за умови створення універсальних програмно-керованих калібраторів, які забезпечують можливість відтворення сигналів, що є вхідними для основної маси промислових ЗВТ. Важлива вимога – реалізація функцій контролю умов експлуатації ЗВТ та створення алгоритмів вимірювань, що дають змогу визначати похибку ЗВТ, не розмикаючи вимірювального кола ЗВТ [4].

Під час традиційної метрологічної перевірки контроль похибки, як правило, здійснюється в трьох чи п'яти точках, які рівномірно розподілені по діапазону вимірювання. Такий підхід неоптимальний з двох причин.

По-перше, більшість промислових ЗВТ вимірюють параметр, який змінюється в околі певного значення – номінального значення параметра технологічного процесу, причому діапазон зміни цього параметра значно вузьчий від діапазону вимірювання ЗВТ. Тому метрологічно перевіряти його в точках, які не будуть використовуватися під час застосування ЗВТ, недоцільно.

По-друге, згідно з чинними постулатами метрології, єдність вимірювань забезпечується передаванням зразкового розміру одиниці фізичної величини і реалізується проведенням метрологічної перевірки. Стан абсолютної метрологічної надійності існує тільки в момент передавання зразкового розміру і тільки в точці діапазону ЗВТ, де відбувається передавання. Тому для підвищення метрологічної надійності ЗВТ необхідно підвищувати частоту передавання розміру зразкової фізичної величини та збільшувати кількість точок передавання. В ідеалі передавання розміру потрібно здійснювати перед кожним вимірюванням, яке виконує ЗВТ, а кількість точок передавання повинна дорівнювати кількості оцифрованих відміток шкали ЗВТ. Зрозуміло, що з погляду нинішньої практики метрологічного забезпечення такий підхід видається практично нездійсненним. Однак ймовірна абсурдність такого підходу тільки підтверджує невідповідність стану метрологічного забезпечення промислових вимірювань стану розвитку ЗВТ, які використовують у сучасних автоматизованих технологічних процесах.

Переваги автоматизації вимірювань очевидні, але поряд з тим її застосування зумовило:

- по-перше, збільшення кількості ЗВТ внаслідок зростання обсягів вимірювань;

- по-друге, розширення функціональних можливостей промислових ЗВТ, наприклад, вимірювання декількох технологічних параметрів, сигналізування

про вихід параметра за встановлені межі, регулювання значень цих параметрів;

- по-третє, підвищення вимог до надійності функціонування ЗВТ внаслідок зростання їх впливу на результати контрольованого процесу.

Тому доцільно забезпечити метрологічну надійність саме в тій частині діапазону вимірювання ЗВТ, в якій вимірюватимуть контрольований параметр технологічного процесу. Для цього необхідні калібратори з високою дискретністю зміни відтворюваного сигналу. Твердження, що вирішити питання індивідуального контролю похибок для конкретного ЗВТ (вибір точок контролю, визнання факту метрологічної справності ЗВТ) можна за допомогою процедур калібрування, неочевидне, оскільки під час технічної реалізації калібрування, як правило, копіюють процедури традиційної метрологічної перевірки. До того ж в метрологічних службах підприємств дуже часто немає працівників з кваліфікацією, достатньою, щоб вирішити питання організації випробувань з метою індивідуального оцінювання метрологічної надійності ЗВТ. Отже, наявність у метрологічних службах підприємств калібраторів, запрограмованих під конкретні вимоги забезпечення єдності вимірювань, на цьому підприємстві є достатньо актуальним завданням.

На часі розвиток теорії оцінювання метрологічної надійності промислових ЗВТ, здатної забезпечити адекватнішу оцінку метрологічної надійності ЗВТ, а також надати змогу індивідуально оцінювати метрологічну надійність ЗВТ, що тривалий час використовуються у конкретному технологічному процесі.

Класична теорія надійності ґрунтується на припущеннях, що для пристроїв, які містять значну кількість елементів, раптові відмови мають властивості стаціонарного процесу, а відмови окремих елементів є незалежними. Метрологічні відмови, які є випадковою подією, мають інший характер. Зміна похибки ЗВТ спричинена процесами старіння його вузлів та елементів, що пов'язано з інтенсивністю використання, умовами експлуатації, взаємодією із довкіллям, фактичною надійністю матеріалів тощо. При цьому зміна похибки визначається процесами, які відбуваються на атомно-молекулярному рівні і залежить, здебільшого, від використаних матеріалів та технології виготовлення [2]. Ця випадковість також зумовлена швидкістю перебігу процесів старіння та розрегулювання ЗВТ [3]. Причому цей процес іноді настільки індивідуальний та непередбачуваний з погляду класичної теорії надійності для кожного ЗВТ, що може кардинально вплинути на достовірність вимірювальної інформації.

Крім того, згідно з класичною теорією надійності, пристрій вважають працездатним за умови працездатності всіх його елементів, тоді як метро-

логічна відмова не обов'язково виникає у разі метрологічної відмови одного чи кількох його елементів [3]. Тому доцільно розглядати метрологічну надійність ЗВТ як випадкову подію та використовувати теорію ймовірності для оцінювання показників метрологічної надійності.

Подемо метрологічну надійність ЗВТ в окремій точці діапазону вимірювання коефіцієнтом метрологічного запасу – K_{mi} :

$$K_{mi} = \frac{\Delta_i}{\Delta_{доп}}, \quad (1)$$

де Δ_i – значення похибки в i -й точці діапазону вимірювання; $\Delta_{доп}$ – допустиме значення похибки в i -й точці діапазону вимірювання. Якщо вважати, що відхилення функції перетворення ЗВТ у кожній точці діапазону вимірювання спричинені впливом тієї самої сукупності впливових факторів, то самі відхилення незалежні одне від одного. Введемо поняття інтегрального коефіцієнта метрологічного запасу:

$$J_M = \sum_{i=1}^n a_i \cdot K_{mi}, \quad (2)$$

де a_i – ваговий коефіцієнт, який визначає важливість метрологічної надійності точки контролю для користувача ЗВТ. Коефіцієнти вагомості, які визначає користувач ЗВТ, повинні задовольняти умову:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1. \quad (3)$$

У практиці результат перевірки ЗВТ має два альтернативні стани: “придатний”, “непридатний”. Представлення метрологічної перевірки як операції контролю відповідності метрологічних характеристик ЗВТ встановленим вимогам дає змогу значно спростити оцінку його інтегральної метрологічної надійності. Очевидно, що, як прийнято у метрологічній практиці, перевищення хоча б одним K_{mi} значення одиниці є підставою для визнання ЗВТ “непридатним”. Однак, якщо відомо, що ЗВТ не виконуватиме вимірювання в діапазоні, для якого $K_{mi} \geq 1$, то питання придатності до застосування може визначати користувач.

Для того, щоб спростити оцінку достовірності перевірки, доцільно використовувати поняття оперативної характеристики перевірки $L(J_M)$. Тоді ймовірність визнання ЗВТ придатним за умови, що J_M має певне конкретне значення, можна знайти із виразу:

$$L(J_M) = \int_{-A_{доп}}^{A_{доп}} f(J_M) dJ_M, \quad (4)$$

де $f(J_M)$ – густина розподілу ймовірності інтегрального коефіцієнта метрологічного запасу.

Очевидно, що оперативна характеристика метрологічної перевірки залежить від якості методики, тому для повнішої оцінки достовірності метро-

логічної перевірки необхідно дослідити їх взаємний вплив.

Встановлення “індивідуальної цінності” ЗВТ і визначення його місця у контролі технологічних параметрів, залежно від важливості впливу контролюваного параметра на якість створюваної продукції, дає змогу підвищити рівень метрологічного забезпечення у промисловості, особливо в атомній енергетиці та медицині.

Окрім того, треба звернути увагу на метрологічну надійність не тільки ЗВТ, але й іншого випробувального устаткування. Оскільки в атомній енергетиці та медицині широко використовують джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ), зокрема закриті ДІВ, рентгенівські установки, термін експлуатації яких великий, то постає питання їх метрологічної надійності.

Щоб забезпечити належну якість виміральної, діагностичної інформації чи лікувального ефекту, необхідно:

- здійснювати регулярний контроль всіх процесів, які беруть участь в етапі дослідження;
- виконувати регулярні перевірки технічного стану джерел іонізуючого випромінювання;
- проводити їх випробування з метою визначення технічних характеристик;
- перевіряти їх на герметичність [5];
- подовжувати термін експлуатації ДІВ на основі прийнятих та спеціально розроблених процедур та методик.

Висновки

1. Вимогу забезпечення достовірності результатів вимірювань, на прикладі вдосконалення метрологічного забезпечення промислових ЗВТ, можна реалізувати так:

- упровадженням методів бездемонтажної метрологічної перевірки (бездемонтажного калібрування) та створенням для цього програмно-керованих калібраторів із високою дискретністю відтворення;
- упровадженням у метрологічну практику оцінювання і реєстрування показників метрологічної надійності (метрологічний запас, швидкість дрейфу похибки та його прискорення) для ЗВТ;
- розвитком теорії метрологічної надійності в напрямку створення методик об'єктивного оцінювання показника метрологічної надійності конкретного ЗВТ.

2. Розроблення нових методів оцінки джерел іонізуючого випромінювання, визначення їх місця у контролі технологічних параметрів дає змогу підвищити рівень метрологічного забезпечення у промисловості, особливо в атомній енергетиці, а також у медицині. Для того, щоб забезпечити належну якість діагностичної інформації чи лікувального

ефекту, необхідно здійснювати регулярний контроль всіх процесів, які беруть участь в етапі дослідження, виконуючи регулярні перевірки технічного стану джерел іонізуючого випромінювання, їх випробування з метою уточнення технічних характеристик та перевірки на герметичність.

Подяка

Автори висловлюють вдячність колективу кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету “Львівська політехніка” за надану допомогу та всемірне сприяння у підготовці та виконанні цієї роботи.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність будь-якого фінансового або іншого можливого конфлікту, що стосується роботи.

Список літератури

[1] М. Микійчук, “Засоби повірки вторинних пристроїв контактної термометрії на основі активних імітаторів опору”, автореф. дис. ... канд. техн. наук, Львів, 1998.

[2] П. Новицкий, И. Зограф, В. Лабунец, *Динамика погрешностей средств измерений*. Ленинград, Россия: Энергоатомиздат, 1990.

[3] А. Фридман, “Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики”, дис. д-ра техн. наук, Москва, Россия, 1994.

[4] Р. Огірко, “Бездемонтажний контроль метрологічних характеристик промислових засобів вимірювання”, *Вимірювальна техніка та метрологія*, вип. 60, с. 34–38, 2002.

[5] ДСТУ ISO 9978:2014 *Радіаційна безпека. Закриті радіоактивні джерела. Методи випробування на витік* (ISO 9978:1992, IDT) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/17886.html>

References

[1] M. Mykyichuk, “Means of verification of secondary devices of contact thermometry based on active resistance simulators”, PhD Thesis, Ukraine, National University Lviv Polytechnic, 1998.

[2] P. Novitsky, I. Zograf, V. Labunets, *Dynamics of measuring instruments' errors*. Leningrad, RF: Energoatomizdat, 1990.

[3] A. Friedman, “The theory of metrological reliability of measuring instruments and other technical means with their accurate characteristics”, dis. Dr. Sc., Moscow, RF, 1994.

[4] R. Ogirko, “Dismantling control of metrological characteristics of industrial measuring instruments”, *Measurement equipment and metrology*, iss. 60, pp. 34–38, 2002.

[5] ISO 9978:1992. Radiation protection – Sealed radioactive sources – Leakage test methods. [On-line]. Available: <https://www.iso.org/standard/17886.html>