

## АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ЗВТ

*М.М. Микийчук*

*Національний університет „Львівська політехніка”, вул. С. Бандери 12, м.Львів, 79013,  
e-mail: tgbo@polynet.lviv.ua*

*Запропоновано підхід до підвищення достовірності промислових вимірювань шляхом впровадження методів бездемонтажного контролю метрологічних характеристик ЗВТ та оцінювання його метрологічної надійності на основі інтегрального коефіцієнта метрологічного запасу.*

*Ключові слова: вимірювання, метрологічна надійність, інтегральний коефіцієнт метрологічного закону, перевірка, коефіцієнт вологості, достовірність, імовірність.*

*Предложен подход к повышению достоверности промышленных измерений путем внедрения методов бездемонтажного контроля метрологических характеристик ЗВТ и оценивание его метрологической надежности на основе интегрального коэффициента метрологического запаса.*

*Ключевые слова: измерение, метрологическая надежность, интегральный коэффициент метрологического закона, проверка, коэффициент влажности, достоверность, вероятность.*

*Offered approach to the increase of authenticity of the industrial measurements by introduction of methods without breaking-down control of metrology descriptions of ZVT and evaluation of him metrology reliability on the basis of integral coefficient of metrology supply.*

*Keywords: measuring, metrology reliability, integral coefficient of metrology law, verification, coefficient of humidity, authenticity, probability.*

Важливою умовою забезпечення конкурентоздатності продукції є забезпечення заданого рівня їх якості при мінімальних затратах. Для забезпечення цієї умови необхідно створювати технологічні процеси з високим ступенем керованості, яку неможливо забезпечити без отримання достовірної інформації про хід технологічного процесу. Достовірна інформація отримується шляхом використання засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та визначається їх метрологічною надійністю. Метрологічні відмови мають прихований характер, не можуть бути виявлені в момент їх появи, а отже брак виробництва від використання недостовірної інформації може бути досить великим. Тому питання забезпечення різних виробництв достовірною інформацією про хід технологічних процесів є актуальним і своєчасним.

Одним з основних факторів, що визначає ефективність промислових ЗВТ, є наявність сучасного метрологічного забезпечення [1]. В останні роки все більше стала помітною неефективність існуючих методів оцінювання і контролю похибок промислових ЗВТ. Такий стан пояснюється специфікою застосування промислових ЗВТ, яка полягає в тому, що вони експлуатуються в умовах, які відмінні від умов їх метрологічної перевірки. Оцінювання

додаткових похибок здійснюється за визначеною під час метрологічної перевірки залежністю похибки від значення впливаючого фактору і нормується, як правило, шляхом встановлення її гранично допустимого значення. Оцінка сумарної похибки в конкретних умовах застосування визначається як сума основної та додаткових похибок, нормованих для конкретного типу ЗВТ, без урахування метрологічного запасу та напряму дрейфу похибки, який має ЗВТ [2]. Тому часто метрологічно надійний ЗВТ вилучають із технологічного процесу для здійснення його метрологічної перевірки, або метрологічно несправний ЗВТ продовжують експлуатувати, що і в першому, і другому випадку спричиняє неоправдані затрати.

Сьогодні, при аналізі похибок під час експлуатації ЗВТ, зміну похибки представляють у вигляді стаціонарного випадкового процесу  $\Delta(t)$  зі сталим законом розподілу. При цьому задача аналізу зводиться до пошуку виду цього закону розподілу. За таких умов метрологічно справний стан ЗВТ зберігається до тих пір, доки миттєве значення випадкового процесу зміни похибки знаходиться 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  $\pm\Delta_{\text{доп}}$  приймається однаковою як на початку його експлуатації, так і через певний відрізок часу його експлуатації [3].

Недолік існуючих підходів до оцінювання метрологічної надійності промислових ЗВТ полягає у неможливості об'єктивного встановлення та нормування показників метрологічної надійності для конкретного ЗВТ. Це виражається у застосуванні узагальнених показників метрологічної надійності шляхом встановлення однакових інтервалів між метрологічними перевірками для ЗВТ, які мають різну метрологічну надійність, наприклад, через відмінність умов експлуатації.

Також зберігається практика застосування класичної теорії надійності для оцінювання метрологічної надійності ЗВТ, хоча науково доведено її неадекватність [3, 4].

Тому розроблення методів контролю похибки в реальних умовах експлуатації та оцінювання показників метрологічної надійності промислових ЗВТ є гострою потребою підвищення якості сучасних виробничих процесів.

Вдосконалення метрологічного забезпечення промислових вимірювань повинно відбуватися в напрямку розвитку методів бездемонтажного контролю метрологічної справності ЗВТ та теорії індивідуального оцінювання метрологічної надійності ЗВТ як інструменту встановлення оптимальних міжповірювальних інтервалів.

Бездемонтажна метрологічна перевірка – це процедура контролю похибки ЗВТ на місці його безпосередньої експлуатації. Переваги бездемонтажної метрологічної перевірки очевидні: економія затрат на демонтаж ЗВТ та проведення традиційної повірки в умовах спеціалізованої лабораторії, так як була можливість визначення похибки в реальних умовах експлуатації ЗВТ.

Основним недоліком бездемонтажної метрологічної перевірки є трудність її реалізації з використанням існуючих робочих еталонів та методик виконання вимірювань. Однак реалізація бездемонтажної метрологічної перевірки достатньо спрощується за умови створення сучасних універсальних програмно-керованих калібраторів [5-7], якими забезпечується можливість відтворення сигналів, що є входними для основної маси промислових ЗВТ. Важливою вимогою є реалізація функцій контролю умов експлуатації ЗВТ та створення алгоритмів вимірювань, що дозволяють визначати похибку ЗВТ без розриву вимірювального кола ЗВТ [6]. Одним із шляхів

підвищення достовірності результатів вимірювань ЗВТ може бути використання інформаційного коефіцієнта якості ЗВТ [7], для реалізації якого необхідно мати вбудовану кодокеровану міру. Цей підхід може широко застосовуватися при створенні нових ЗВТ для автоматизованих технологічних процесів.

Під час традиційної метрологічної перевірки контроль похибки, як правило, здійснюється в трьох чи п'яти точках, які рівномірно розподілені по діапазону вимірювання. Такий підхід є неоптимальним 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 вужчий від діапазону вимірювання ЗВТ. Тому здійснювати метрологічну перевірку в точках, які не будуть використовуватися під час застосування ЗВТ, є недоцільно. По-друге, згідно існуючих постулатів метрології – єдність вимірювань забезпечується шляхом передачі зразкового розміру одиниці фізичної величини і реалізується шляхом проведення метрологічної перевірки. Тому стан абсолютної метрологічної надійності існує тільки в момент передачі зразкового розміру і тільки в точці діапазону ЗВТ, де відбувається передача. Тому для підвищення метрологічної надійності ЗВТ необхідно підвищувати частоту передачі розміру зразкової фізичної величини та збільшувати кількість точок передачі. В ідеалі передачу розміру потрібно здійснювати перед кожним вимірюванням, яке здійснює ЗВТ, а кількість точок передачі повинна дорівнювати кількості оцифрованих відміток шкали ЗВТ. Зрозуміло, що з точки зору існуючої практики метрологічного забезпечення такий підхід виглядає практично нездійсненним. Однак імовірна абсурдність такого підходу тільки підтверджує невідповідність рівня метрологічного забезпечення промислових вимірювань рівню розвитку ЗВТ, які використовуються в сучасних автоматизованих технологічних процесах.

Переваги автоматизації вимірювань очевидні, але поруч з тим її застосування зумовило: по-перше, збільшення кількості ЗВТ внаслідок збільшення об'ємів вимірювань; по-друге, розширення функціональних можливостей промислових ЗВТ, наприклад, вимірювання декількох технологічних параметрів, сигналізацію 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 забезпечувати впевненість у метрологічній надійності саме в тій частині діапазону вимірювання ЗВТ, в якій буде вимірюватися контрольований параметр технологічного процесу. Для цього необхідно мати 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) шляхом процедур калібрування є неочевидним, оскільки при технічній реалізації калібрування, як правило, копіюють процедури традиційної метрологічної перевірки. Також в метрологічних службах підприємств дуже часто відсутні працівники з кваліфікацією достатньою для вирішення питань організації випробувань з метою індивідуального оцінювання метрологічної надійності ЗВТ. Отже наявність в метрологічних службах підприємств калібраторів, які запрограмовані під конкретні вимоги забезпечення єдності вимірювань, на цьому підприємстві є надзвичайно актуальним завданням.

Тому на часі є розвиток теорії оцінювання метрологічної надійності промислових ЗВТ, яка б забезпечувала більш адекватну оцінку метрологічної надійності ЗВТ, а також надавала можливість індивідуального оцінювання метрологічної надійності ЗВТ, що тривалий час використовуються в конкретному технологічному процесі.

Класична теорія надійності базується на припущеннях, що для пристроїв, які включають значну кількість елементів, раптові відмови мають властивості стаціонарного процесу, а відмови окремих елементів є незалежними. Метрологічні відмови, являючись випадковою подією, мають інший характер. Зміна похибки ЗВТ зумовлена процесами старіння його вузлів та елементів, що пов'язано з інтенсивністю використання, умовами експлуатації, взаємодією з довкіллям, фактичною надійністю матеріалів тощо. Причому зміна похибки визначається процесами, які відбуваються на молекулярному рівні і залежить, в основному, від використаних матеріалів та технології виготовлення [3]. Ця випадковість також зумовлена швидкістю протікання процесів старіння та розрегулювання ЗВТ [3, 4]. Причому цей процес настільки може бути індивідуальний та непередбачуваний класичною теорією надійності для кожного ЗВТ, що може кардинально вплинути на достовірність вимірювальної інформації.

Також, згідно класичної теорії надійності, пристрій вважається працездатним за умови працездатності всіх його елементів, тоді як метрологічна відмова не обов'язково виникає при метрологічній відмові одного чи кількох його елементів [4]. Тому доцільно представляти метрологічну надійність ЗВТ як випадкову подію та використовувати теорію ймовірності для оцінювання показників метрологічної надійності.

Розглянемо можливий варіант оцінювання метрологічної надійності окремого ЗВТ. Представимо метрологічну надійність ЗВТ в окремій точці діапазону вимірювання коефіцієнтом метрологічного запасу  $K_{mi}$ :

$$K_{mi} = \Delta_i / \Delta_{i\text{дон}}, \quad (1)$$

де  $\Delta_i$  – значення похибки в  $i$ -тій точці діапазону вимірювання;  $\Delta_{i\text{дон}}$  – допустиме значення похибки в  $i$ -ій точці діапазону вимірювання.

Якщо вважати, що відхилення функції перетворення ЗВТ в кожній точці діапазону вимірювання зумовлені впливом однієї і тієї ж сукупності впливових факторів, то самі відхилення є незалежними одне від одного. Введемо поняття інтегрального коефіцієнта метрологічного запасу  $J_M$ :

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

де  $a_i$  – ваговий коефіцієнт, який визначає важливість метрологічної надійності точки контролю в діапазоні вимірювання ЗВТ,  $n$  – кількість точок контролю похибки в діапазоні вимірювання ЗВТ.

Коефіцієнти вагомості можуть визначатися користувачем ЗВТ і повинні задовільняти умову:

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

При існуючій сьогодні практиці результат метрологічної перевірки ЗВТ має два альтернативні стани: «придатний», «непридатний». Представлення метрологічної перевірки як операції контролю знаходження похибки ЗВТ в допустимих межах дозволяє значно спростити оцінку його інтегральної метрологічної надійності. Очевидно, що згідно існуючої метрологічної практики перевищення хоча б одним  $K_{mi}$  значення одиниці є підставою для визнання ЗВТ «непридатним». Однак якщо

відомо, що ЗВТ не буде виконувати вимірювання в діапазоні, для якого  $K_{mi} \geq 1$ , то питання придатності до застосування може визначатися користувачем.

Для спрощення оцінки достовірності метрологічної перевірки доцільно використовувати поняття оперативної характеристики контролю [8]. Використовуючи поняття оперативної характеристики повірки  $L(J_M)$ , як імовірності знаходження похибки, у всьому діапазоні вимірювання ЗВТ, в допустимих межах, цю ймовірність можна знайти з виразу:

$$L(J_M) = \int_{-\Delta_{доп}}^{\Delta_{доп}} f(J_M) d\Delta, \quad (4)$$

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

Адекватність застосування такого підходу для оцінювання метрологічної надійності окремого ЗВТ ще потребує додаткового теоретичного аналізу та практичної апробації. Однак очевидними є дві позитивні сторони: по-перше, можна оцінювати якість ЗВТ, як метрологічного пристрою, на основі узагальненої характеристики, що пов'язує дві основні метрологічні характеристики – похибку та діапазон вимірювання; по-друге, з'являється можливість оцінювання метрологічної надійності конкретного ЗВТ без проведення багаторічних метрологічних досліджень, особливо, якщо прийняти до уваги твердження, які висунуті у відомих наукових дослідженнях [3,4].

Очевидно, що оперативна характеристика метрологічної перевірки буде залежати від якості методики метрологічної перевірки, тому для більш повної оцінки достовірності метрологічної перевірки необхідно дослідити їх взаємний вплив.

## ВИСНОВКИ

Вимога забезпечення достовірності результатів вимірювань для промислових ЗВТ може бути реалізована наступними шляхами. По-перше, впровадженням методів бездемонтажної метрологічної перевірки та створенням для цього програмнокерованих калібраторів з високою дискретністю відтворення. По-друге, впровадженням в метрологічну практику оцінювання і реєстрування показників метрологічної надійності (метрологічний запас, швидкість

дрейфу та прискорення дрейфу похибки) для ЗВТ. По-третє, необхідно розвивати теорію метрологічної надійності в напрямку створення методик об'єктивного оцінювання індивідуальних показників метрологічної надійності ЗВТ.

Вирішення поставлених завдань дозволить підвищити рівень метрологічного забезпечення виробництва, зокрема, встановлювати «індивідуальну цінність» ЗВТ та визначити його місце в контролі технологічних параметрів в залежності від важливості впливу контрольованого параметру на якість виготовлюваної продукції.

1. Микийчук М.М. Засоби повірки вторинних пристроїв контактної термометрії на основі активних імітаторів опору // Автореф. дисерт. канд. техн. наук. – Львів, 1998 – 18 с. 2. Микийчук М.М., Огірко Р.М., Бойко Т.Г. Прогнозування похибок промислових засобів вимірювання температури // Вісник НУ "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування. 2004. – №500 – С. 36 – 40 3. Новицький П.В., Зограф І.А., Лабунец В.С. Динамика погрешностей средств измерений. –Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с. 4. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики // Диссертация. докт. – М., 1994 – 423 с. 5. Микийчук М.М. Шляхи вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювання температури // Збірник праць четвертої міжнародної науково-технічної конференції "Контроль і управління в технічних системах - КУТС - 97". Вінниця, 1997.6. Огірко Р.М. Бездемонтажний контроль метрологічних характеристик промислових засобів вимірювання//Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вимірювальна техніка та метрологія – 2002 –№607. Яцук В.О. Розвиток теорії та методів підвищення якості засобів вимірювальної техніки з використанням кодокерованих мір // Автореф. дисерт. докт. техн. наук – Львів, 2004. – 38 с. 8. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники/ Под ред. В.А. Кунецова.— М.: Радио и связь, 1990.— 240 с.

Поступила в редакцію 13.11.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Стадник Б.В.