

## CALIBRATION AND TRACEABILITY CONCEPT IN INDUSTRY 4.0

### КОНЦЕПЦІЯ КАЛІБРУВАННЯ ТА ПРОСТЕЖУВАНОСТІ В ІНДУСТРІЇ 4.0

Васілевський О.М.  
Вінниця, Україна

**Keywords:** *calibrations, measurement uncertainty, traceability, Industry 4.0, smart sensors*  
**Ключові слова:** *калібрування, непевність вимірювань, простежуваність, Індустрія 4.0, інтелектуальні сенсори*

#### Анотація

Простежувані калібрування, гармонізоване трактування непевностей (невизначеностей) вимірювань та застосування міжнародних та галузевих стандартів є основними складовими метрологічної інфраструктури, що дозволяє глобалізувати виробництво та міжнародну торгівлю. Цифровізація та наука про данні швидко змінюють майже всі аспекти концепції калібрування ЗВТ: наприклад, сенсори стають інтелектуальними, і великі мережі сенсорів використовуються разом з методами машинного навчання для прийняття автоматизованих рішень та контролю виробничих процесів. Поєднання цих та інших технологічних елементів формує фабрику майбутнього в Індустрії 4.0, парадигму, яка швидко поширюється та розвивається у всьому світі.

Результати цифрової трансформації в метрології та Індустрії 4.0 чітко відображені в розвитку технології смарт-сенсорів (Smart sensor – інтелектуальних сенсорів) [1]. Застосування метрологічних принципів для сенсорних мереж у Індустрії 4.0 призводить до декількох проблем з калібруванням та простежуваністю. Наприклад, впровадження метрології в Індустрію 4.0 означає, що можливості калібрування повинні бути розширені для сенсорів з цифровим вихідним сигналом. Це вимагає нових концепцій щодо генерації часових позначок для сигналів від сенсорів. В першу чергу це особливо важливо для динамічного (частотно залежного) калібрування. Причина полягає в тому, що надійне калібрування зміни фази в сигналі сенсора є важливим елементом для залежних від часу вимірюваних величин [2-12]. У типових для Індустрії 4.0 додатках, сенсори забезпечують цифрові, залежні від часу вихідні сигнали та мають внутрішні можливості обробки сигналів. Це, в свою чергу ускладнює калібрування фази сигналу, оскільки внутрішнє вимірювання часу сенсора не керується системою калібрування, що вимагає нових концепцій для калібрування таких сенсорів. Тому необхідний подальший розвиток калібрувального обладнання при збереженні оцінених непевностей вимірювань.

Одним з варіантів реалізації онлайн калібрування є додаткове використання сигналу GPS для отримання точного значення часу. При підключенні зовнішнього сигналу часу на вихідні значення сенсора можна накласти (додати) абсолютні, простежувані значення часу. Завдяки доступним таким чином виміряним значенням сенсора з простежуваним значенням часу, сенсор можна динамічно калібрувати з використанням традиційних підходів [13-22], включаючи його фазову характеристику. Завдяки використанню MEMS сенсорів, сигналу GPS (чи навігаційної системи Galileo) та спеціальної плати мікроконтролера «Smart-Up-Unit», яка може вмістити один або декілька сенсорів MEMS і має можливості підключення до зовнішніх простежуваних таймерів для забезпечення попереднього опрацювання вимірюваних даних в реальному часу, з'являється можливість онлайн калібрування. Відкалібрований таким чином сенсор можна під'єднувати до веб-сервісів, що спрощує інтеграцію в Індустрію 4.0 та Інтернет речей. Окрім простежуваних відміток часу сигналів сенсорів на платі мікроконтролера можна реалізовувати способи оцінювання, які зможуть забезпечити оцінку непевності вимірювання для кожного поточного виміряного значення. Таким чином, основні принципи опрацювання виміряних значень можуть бути інтегровані безпосередньо на розширеному сенсорі з платою мікроконтролера або використані в комп'ютері, що знаходиться недалеко від сенсора. Паралельно з цим математичні методи

аналізу даних вимірювань повинні готуватися таким чином, щоб їх можна було застосувати в режимі онлайн для збирання даних вимірювань. Для цієї мети використовувані способи обробки даних та сигналів повинні бути доповнені способами опрацювання непевностей вимірювань. Важливим для практичного використання є модульна структура реалізації, щоб її можна було гнучко застосувати до багатьох галузей використання.

### Список літератури

1. Schütze A. and Helwig N., (2017) „Sensorik und Messtechnik für die Industrie 4.0“ tm - Technisches Mes sen 84 (5), pages 310-319.
2. Wilkens V., Koch C., (2004) „Amplitude and phase calibration of hydrophones up to 70 MHz using broadband pulse excitation and an optical reference“ JASA 115 (6), pp 2892-12.
3. O. Vasilevskiy, P. Kulakov, D. Kompanets, O. Lysenko, V. Prysyazhnyuk, W. Wójcik, D. Baitussupov, (2018) „A new approach to assessing the dynamic uncertainty of measuring devices“, *Proceedings Volume 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*, 108082E.
4. Link A., Täubner A., Wabinski W., Bruns T., Elster C., (2006) „Calibration of accelerometers: determination of amplitude and phase response upon shock excitation“ Meas. Sc. Technol. 17 (7) 1888.
5. Elster C., Link A., (2008) „Uncertainty evaluation for dynamic measurements modelled by a linear time-invariant system“, *Metrologia*, 45 (4) pp. 464-473.
6. Vasilevskiy O.M., Didych V.M., (2020) „The method of expressing the uncertainty of dynamic measurements“, *Modern engineering research: topical problems, challenges and modernity* : Collective monograph. - Riga: Izdevnieciba “Baltija Publishing”, pp. 63-83.
7. Hale P. D., Dienstfrey A, Wang J., Williams D. F., Lewandowski A., Keenan D. A., Clement T. S., (2009) „Traceable Waveform Calibration With a Covariance-Based Uncertainty Analysis“, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 58(10), pp. 3554-3568.
8. Vasilevskiy O.M., Kulakov P.I., Dudatiev I.A., Didych V.M., Kotyra Andrzej, Suleimenov Batyrbek, Assembay Azat, Ainur Kozbekova Ainur, (2017) „Vibration diagnostic system for evaluation of state interconnected electrical motors mechanical parameters“, *Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017*, 104456C.
9. Vasilevskiy O.M., (2012) „Means for measuring the dynamic torque electric motors and an analysis of its accuracy“, *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiiia*, 73, pp. 52–56.
10. Podzharenko V.O., Vasilevskiy O.M., (2005) „Diagnostics of technical condition of electromechanical systems for the logarithmic decrement“, *Proceedings of Donetsk National Technical University*, 88, pp. 138–144.
11. Vasilevskiy O. M., (2014) „Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty“, *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, Volume 5, Issue 04-403.
12. Сопрунюк П. М., Василевский А. Н., Чабанюк Ю. А. Неопределенность результатов измерений при контроле асинхронности вращения электромеханических преобразователей // Системи обробки інформації. – Харків. – 2006. – №7 (56). – С. 72 – 75.
13. Васілевський О. М. Оцінка невизначеності вихідних сигналів засобів вимірювальної техніки в динамічних режимах роботи // Системи обробки інформації. – 2010. – № 4 (85). – С. 81 - 84.
14. Васілевський О. М., Кулаков П. І. Елементи теорії підвищення точності вимірювання та синхронізації кутових швидкостей роторів взаємозв'язаних електромоторів: монографія. - Вінниця: ВНТУ.-2011. - 176 с.
15. Васілевський О. М. Нормування показників метрологічної надійності // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2011. - № 4. -С. 9-13.
16. BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, (2008) “Evaluation of measurement data: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”.