

УДК 621.317

NEW APPROACHES TO CALIBRATION IN INDUSTRY 4.0

НОВІ ПІДХОДИ ДО КАЛІБРУВАННЯ В ІНДУСТРІЇ 4.0

Vasilevskyi O.M. / Васілевський О.М.

Doc. of sien. (eng.), prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-8618-0377

Koval M.M. / Коваль М.М.

Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Khmelnytsky highway, 95, 21021

Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, 21021

Анотація. В роботі розглядається нові підходи щодо реалізації простежуваних калібрувань, гармонізованих трактувань непевностей вимірювань та застосування міжнародних стандартів з метою створення метрологічної інфраструктури, що дасть змогу глобалізувати виробництво та міжнародну торгівлю. Цифровізація та наука про дані 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.

Ключові слова: калібрування, непевність вимірювань, простежуваність, Індустрія 4.0, інтелектуальні сенсори.

Abstract. Traceable calibrations, harmonized treatment of measurement uncertainties and the application of international standards are essential components of the metrological infrastructure enabling globalization of manufacturing and international trade. Digitalization and data science are rapidly changing almost every aspect of the concept of SI calibration: for example, sensors are becoming intelligent, and large sensor networks are used together with machine learning methods to make automated decisions and control production processes. The combination of these and other technological elements forms the factory of the future in Industry 4.0, a paradigm that is rapidly spreading and evolving around the world.

Key words: calibrations, measurement uncertainty, traceability, Industry 4.0, smart sensors.

Вступ.

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. У типових для Індустрії 4.0 додатках, сенсори забезпечують цифрові, залежні від часу вихідні сигнали та мають внутрішні можливості обробки сигналів [2-12]. 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.

Основний текст

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 [13-15], 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.

Висновки.

Простежуване калібрування інтелектуальних засобів вимірювання є основою для кожного точного вимірювання, саме тому результати вимірювань будуть надійними і їх можна буде порівнювати та відтворювати. Розвиток основних метрологічних досліджень в останні десятиліття загалом зосереджувався на підвищенні точності вимірювань, нових вимірюваних величинах та нових принципах вимірювання. Однак, при більшій інтеграції цифрових технологій у засоби вимірювання, швидко зростаючому використанні сенсорних мереж та тенденції до інтегрованої попередньої обробки в так званих "інтелектуальних сенсорах" необхідні абсолютно нові підходи до розробки методик (процедур) калібрування. Наприклад, недорогі сенсори MEMS доступні в надзвичайно великих кількостях і роблять традиційні підходи до калібрування економічно не вигідними; цифрові вихідні сигнали більше не дозволяють розділяти сенсор і попередню обробку для калібрування; вбудовані системи значно ускладнюють методи попереднього опрацювання результатів вимірювань. У зв'язку з цим, на найближче десятиліття відкриваються абсолютно нові галузі досліджень і розробок в метрології. Сенсорна мережа - це не лише просторово розподілена система, а загалом мережа з декількох сенсорних елементів. Наприклад, це може бути єдиний інтелектуальний сенсор, який визначає параметри навколишнього середовища за допомогою відповідних вимірювальних перетворювачів. Синтез інформації з декількох джерел не є рідкістю та існують відповідні процедури їх опрацювання. При цьому розгляд непевності вимірювання має відповідати основним принципам метрології та переслідувати такі стратегії, як надійний контроль або оцінка.

Література:

1. Schütze A. and Helwig N., (2017) „Sensorik und Messtechnik für die Industrie 4.0“ *tm - Technisches Messen* 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. Vasilevskyi, P. Kulakov, D. Kompanets, O. Lysenko, V. Prisyazhnyuk, 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. Vasilevskyi 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. Vasilevskyi 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. Vasilevskyi O.M., (2012) „Means for measuring the dynamic torque electric motors and an analysis of its accuracy“, *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia*, 73, pp. 52–56.

10. Podzharenko V.O., Vasilevskyi 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. Vasilevskyi 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 // *Системы обработки 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.

Статья отправлена: 12.08.2020 г.

© Васілевський О.М., Коваль М.М.