



ВСЕУКРАЇНСЬКА ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ
АСОЦІАЦІЯ ТЕХНОЛОГІВ-МАШИНОБУДІВНИКІВ
УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ІНСПЕКЦІЯ УКРАЇНИ З ПИТАНЬ ЗАХИСТУ
ПРАВ СПОЖИВАЧІВ
ДП УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ І
НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР ПРОБЛЕМ СТАНДАРТИЗАЦІЇ,
СЕРТИФІКАЦІЇ ТА ЯКОСТІ
ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»
ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ІМ. В.М. БАКУЛЯ НАН УКРАЇНИ
ТЕХНІЧНИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
СОЮЗ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ НТУ УКРАЇНИ «КП»
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА



Матеріали 26-ї Міжнародної науково-практичної конференції

21–25 вересня 2026 р.

Київ – 2026

Житомир –  – 2026

Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: Матеріали 26-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 21–25 вересня 2026 р. – Київ: АТМ України. Житомир: Вид-во "Рута", 2026. – 136 с.

ISBN 978-617-581-743-8

Наукові напрямки конференції

- Побудова національних систем технічного регулювання в умовах членства в СОТ і ЄС: теорія і практика
- Процесно-орієнтовані інтегровані системи управління: теорія і практика
- Стандартизація, сертифікація, управління якістю в промисловості, електроенергетиці, сільському господарстві та сфері послуг
- Впровадження стандартів ISO 9001:2015 в промисловості, вищих навчальних закладах, медичних установах і органах державної служби
- Метрологічне забезпечення і контроль якості продукції в промисловості, електроенергетиці, сільському господарстві та сфері послуг
- Забезпечення якості та конкурентоспроможності продукції на внутрішньому і зовнішньому ринку
- Впровадження інформаційних технологій в процеси адаптації, сертифікації та управління якістю
- Проблеми гармонізації технічних, нормативних та правових актів.

Матеріали представлені в авторській редакції

УДК 658.516

ISBN 978-617-581-743-8

© АТМ України, 2026

© ПП «Рута», 2026

МЕТРОЛОГІЯ РОЗПОДІЛЕНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ: НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ, САМОКАЛІБРУВАННЯ ТА ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ

Розподілені сенсорні мережі стають основою промислового Інтернету речей, систем моніторингу машин, цифрових двійників і прогнозного технічного обслуговування. На відміну від класичної метрологічної схеми, де один добре охарактеризований прилад вимірює одну величину за контрольованих умов, сенсорна мережа формує результат на основі багатьох взаємопов'язаних каналів, що працюють у різних точках простору, у різний час та часто за нестабільних зовнішніх умов. Через це традиційна логіка «відкалібрувати кожен датчик окремо – отримати достовірну мережу» є недостатньою. Сучасна метрологія переходить до оцінювання мережі як цілісної вимірювальної системи [1–3].

Головна складність полягає у тому, що якість мережевого результату залежить не лише від характеристик окремого сенсора. Вплив мають часові затримки, синхронізація, втрати пакетів, дрейф нуля, температурна залежність, зміна топології мережі, кореляція між каналами, алгоритм фільтрації та спосіб злиття даних. Якщо кілька датчиків спостерігають один і той самий процес, їхні результати не обов'язково є статистично незалежними. Спільні зовнішні чинники або однакова процедура калібрування можуть створювати корельовані складові невизначеності. Ігнорування цих зв'язків призводить до штучного заниження невизначеності після усереднення або sensor fusion.

У 2025 році в межах європейського проєкту Fundamental principles of sensor network metrology було опубліковано результати щодо оцінювання невизначеності для мережевих вимірювань [2]. Автори відзначають, що реальні мережі часто мають динамічні моделі, просторово-часову кореляцію та неоднорідні сенсори, через що пряме застосування стандартної схеми GUM стає складним. Для окремих задач використовуються фільтри Калмана, гаусівські процеси, моделі обернених задач та інші чисельні методи, які дозволяють враховувати часову динаміку і кореляцію. Принциповим є те, що результат об'єднання даних повинен супроводжуватися не лише оцінкою значення, а й коректно поширеною невизначеністю.

Для технічного стану машин і обладнання така постановка має безпосереднє прикладне значення. Наприклад, під час контролю редуктора або приводного агрегату можуть одночасно використовуватися датчики вібрації, температури, частоти обертання, тиску та електричних параметрів. Рішення про розвиток дефекту часто формується не за одним каналом, а за сукупністю ознак. Якщо алгоритм діагностики об'єднує ці дані, метрологічна якість кінцевого висновку залежить від простежуваності кожного каналу, часової узгодженості вимірювань та моделі їхнього злиття. У цьому випадку поняття «невизначеність результату» має охоплювати весь інформаційний ланцюг – від первинного перетворювача до діагностичного індексу.

Перспективним механізмом підтримання характеристик великої мережі є співкалібрування та самокалібрування. Ідея полягає в тому, що мережа використовує надлишковість, перетин зон спостереження або опорні сенсори для виявлення дрейфу окремих каналів. Якщо кілька датчиків у певних умовах повинні спостерігати однакову або пов'язану величину, систематичне розходження одного з них може бути виявлене автоматично. Проте така корекція має бути метрологічно обґрунтованою: необхідно відокремити реальну просторову неоднорідність вимірюваної величини від дрейфу датчика та визначити, як процедура корекції впливає на невизначеність. Саме тому сучасні дослідження *sensor network metrology* розглядають не лише алгоритми, а й формальні правила їх валідації [1, 3, 4].

Важливим напрямом є автоматизація метрологічних процедур усередині мережі. Огляд методів, опублікований у *Measurement: Sensors* у 2025 році, розглядає *uncertainty-aware* програмне забезпечення, *data fusion*, машинне навчання та агентні підходи як складові автоматизованої мережевої метрології [3]. Це означає, що інформація про калібрування, невизначеність, статус сенсора і якість даних повинна передаватися поряд із самим вимірним значенням. Якщо у мережі циркулює лише числовий сигнал без метаданих, система не може коректно визначити, який датчик калібрований, наскільки надійний результат і чи можна порівнювати дані різних вузлів.

Тут сенсорна мережа безпосередньо пов'язується з концепцією цифрового двійника. Цифровий двійник використовує поточні вимірювання для синхронізації віртуальної моделі з фізичним об'єктом, а результати моделювання, у свою чергу, можуть застосовуватися для діагностики, оптимізації або керування. Якщо невизначеність фізичних вимірювань і похибки моделі ігноруються, цифровий двійник може створювати хибне відчуття високої точності. У метрологічних дос-

лідженнях цифрових двійників тому окремо розглядаються невизначеності physical-to-virtual та virtual-to-physical зв'язків [5]. У 2026 році запропоновано також використання машинного навчання для ідентифікації джерел систематичних похибок у метрологічних цифрових двійниках на прикладі координатно-вимірювальної машини [6].

Міжнародна метрологічна спільнота вже формалізує цю проблематику. У складі CIPM Forum on Metrology and Digitalization діє окрема Task Group on Sensor Networks. Її завдання включають розроблення підходів до простежуваності та оцінювання невизначеності після злиття даних, метрологічні принципи побудови надійних мереж, методи нетрадиційного калібрування, а також використання сенсорних мереж у цифрових двійниках, AI-системах і цифровому передаванні калібрувальної інформації [1]. Сам факт створення такої групи свідчить, що сенсорна мережа розглядається вже не як сукупність недорогих датчиків, а як новий клас вимірювальних систем.

Для практичного проєктування мережі доцільно закладати метрологічні вимоги ще на рівні архітектури. Кожен вузол повинен мати унікальну ідентифікацію, опис діапазону та калібрувального статусу; часові мітки мають бути узгодженими; алгоритми фільтрації та злиття даних – версійованими; зміни конфігурації – журналюватися. Для критичних задач необхідно зберігати вихідні або достатньо деталізовані дані, щоб результат можна було відтворити. У разі деградації окремого каналу мережа повинна не лише видати числове значення, а й змінити оцінку невизначеності або сформувати ознаку недостатньої довіри.

Для великої кількості сенсорів традиційна схема однакових фіксованих інтервалів калібрування не завжди є оптимальною. Доцільним є формування індексу метрологічного стану вузла, який враховує результати попередніх калібрувань, швидкість дрейфу, умови експлуатації, узгодженість із сусідніми сенсорами та критичність параметра для технологічного процесу. За такого підходу мережа може ранжувати датчики за ризиком і спрямовувати метрологічні ресурси насамперед на ті канали, деградація яких найбільше впливає на кінцевий результат. Це не скасовує простежуваного калібрування, а доповнює його даними про фактичну поведінку сенсора в експлуатації.

Додатковою вимогою стає збереження простежуваності під час зміни конфігурації мережі. Після заміни датчика, перенесення вузла, зміни частоти опитування або оновлення алгоритму злиття даних характеристики кінцевого вимірювального результату можуть змінитися, навіть якщо кожен окремих сенсор залишається справним. Тому конфігурація мережі, версії алгоритмів, калібрувальні параметри та

правила формування інтегрального показника мають розглядатися як частина метрологічно значущої інформації. Для цифрового двійника це особливо важливо, оскільки достовірність віртуального стану об'єкта визначається не лише якістю фізичної моделі, а й повнотою та простежуваністю даних, якими ця модель актуалізується.

Отже, сучасна сенсорна мережа потребує метрології системного рівня. Її достовірність визначається не кількістю встановлених датчиків, а простежуваністю вимірювальних каналів, коректністю врахування кореляцій, надійністю часової синхронізації, алгоритмами злиття та здатністю оцінювати невизначеність кінцевого результату. Поєднання uncertainty-aware data fusion, самокалібрування, цифрових калібрувальних даних і цифрових двійників формує основу для сенсорних систем нового покоління, які можуть використовуватися не лише для спостереження, а й для обґрунтованого автоматизованого прийняття рішень у промисловості та технічному сервісі.

Література

1. BIPM. FORUM-MD Task Group on Sensor Networks: Terms of Reference. 2026. URL: <https://www.bipm.org/en/committees/fo/forum-md/wg/forum-md-tg-sn> (дата звернення: 17.09.2026).
2. Harris P., Østergaard P. F., Tabandeh S., Söderblom H., Kok G. et al. Measurement Uncertainty Evaluation for Sensor Network Metrology. *Metrology*. 2025. Vol. 5, No. 1. Art. 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/metrology5010003>.
3. Vedurmudi A. P., Miličević K., Kok G., Yong B. X., Xu L. et al. Automation in sensor network metrology: An overview of methods and their implementations. *Measurement: Sensors*. 2025. Vol. 38. Art. 101799. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101799>.
4. Eichstädt S., Vedurmudi A. P., Gruber M., Hutzschenreuter D. Fundamental aspects in sensor network metrology. *Acta IMEKO*. 2023. Vol. 12, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.21014/actaimeko.v12i1.1417>.
5. Maculotti G., Marschall M., Kok G., Chekh B. A., van Dijk M. et al. A Shared Metrological Framework for Trustworthy Virtual Experiments and Digital Twins. *Metrology*. 2024. Vol. 4, No. 3. P. 337–363. DOI: <https://doi.org/10.3390/metrology4030021>.
6. Chen G., Mehdi-Souzani C., Anwer N. Error source identification in metrology digital twin systems using machine learning. *Advanced Engineering Informatics*. 2026. Vol. 70. Art. 104142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2025.104142>.

<i>Тимофєєва Л.А., Сайчук К.О., Равлюк В.Г.</i> МЕТРОЛОГІЯ РОЗПОДІЛЕНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ: НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ, САМОКАЛІБРУВАННЯ ТА ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ	105
<i>Тихоненко В.В., Тихоненко Т.В.</i> ТЕРМООБРОБКА В НАФТОГАЗОВІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ	113
<i>Худзіцький П.Г.</i> ДЕРЖАВНЕ ГАРАНТУВАННЯ ЯКОСТІ В УКРАЇНІ	115
<i>Черняк О.М., Рибальченко Т.П.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА	118
<i>Чумак А.О., Манохін А.С., Клименко С.Ан., Мельнійчук Ю.О., Копєйкіна М.Ю., Найдєнко А.Г.</i> ВПЛИВ МІКРОГЕОМЕТРІЇ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ ТА ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ФАСКИ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ ПКНБ НА ЗНОШУВАННЯ ТА ЯКІСТЬ ОБРОБКИ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ	121
<i>Шеремет В.І., Троснікова І.Ю., Андрєєв І.В.</i> СПАДКУВАННЯ МОРФОЛОГІЇ КОЛОНІЙ Н-ФАЗИ НАНОРОЗМІРНИМИ ЗЕРНАМИ WC У ТВЕРДИХ СПЛАВАХ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ВИСОКИХ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	123
<i>Яценко І.В., Ващенко В.А., Колінько С.О., Антонюк В.С.</i> ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВУ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТРІЧКОВИМ ЕЛЕКТРОННИМ ПОТОКОМ	127

ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА

Матеріали 26-ї Міжнародної науково-практичної конференції

21–25 вересня 2026 р.

Комп'ютерна верстка: Копейкіна М.Ю.

Асоціація технологів-машинобудівників України
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2

Тел. /Факс +38-044-430-85-00, www.atmu.net.ua
E-mail: atmu@ism.kiev.ua, atmu@meta.ua, atmu1@meta.ua

Підписано до друку 18.09.2026 р.

Формат 60х84/16.

Папір офсет.

Гарнітура Times New Roman.

Умов. надр аркуш. 8,25.

Зам. № 4022.



Віддруковано в ПП «Рута»

10014, Україна,

м. Житомир, вул. Мала Бердичівська, 17 а,

тел. 0679621687

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК №3671 від 14.01.2010

e-mail: ruta-bond@ukr.net