



УДК 531.731.1

Аналіз впливу оцінки стандартної невизначеності, що обумовлена поправкою через кінцеву роздільну здатність показань, на прийняття рішення про відповідність вимірювального обладнання при калібруванні

О.А. Новосолов

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, 61166, Харків, Україна
oanovoselov@ukr.net

Анотація

У статті розглянуто особливості оцінювання складової стандартної невизначеності за типом В, що обумовлена поправкою через кінцеву роздільну здатність показань вимірювального обладнання при калібруванні.

Зазначено проблему проведення процедури встановлення відповідності вимірювального обладнання технічній специфікації за результатами його калібрування. Зроблено наголос, що процедура встановлення відповідності вимірювального обладнання при калібруванні обов'язково має враховувати невизначеність вимірювань. У зв'язку з цим метрологічні характеристики вимірювального обладнання після калібрування можуть не відповідати вимогам технічної специфікації.

Проведено аналіз калібрувальних та вимірювальних можливостей акредитованих лабораторій при калібруванні мікрометра гладкого МК25 щодо відповідності технічній специфікації за результатами його калібрування.

Показано, що складова стандартної невизначеності за типом В, що обумовлена поправкою через кінцеву роздільну здатність показань аналогових засобів вимірювальної техніки, не може бути домінуючою в бюджеті невизначеності.

Запропоновано для аналізу калібрувальних та вимірювальних можливостей калібрування вимірювального обладнання лабораторії зважати на встановлення цільової невизначеності при калібруванні.

При цьому достовірність оцінки невизначеності вимірювань під час калібрування вимірювального обладнання залежить від правильного вибору процедур оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні. Тому на законодавчому рівні, а саме в Законі України “Про метрологію та метрологічну діяльність”, встановлено, що калібрування та оформлення його результатів проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології.

Ключові слова: невизначеність вимірювань; максимально допустима похибка; вимірювальне обладнання; єдність вимірювань; калібрування; метрологічне підтвердження, методика калібрування.

Отримано: 14.05.2025

Відредаговано: 15.07.2025

Схвалено до друку: 18.07.2025

Вступ

Згідно зі статтею 1 Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [1], метрологія – наука про вимірювання та їх застосування.

Одне з основних завдань метрології полягає у правильному передаванні одиниці вимірювання від еталона до засобу вимірювальної техніки (далі – ЗВТ).

Об'єкти вимірювань та ЗВТ надзвичайно різноманітні, проте методологія забезпечення єдності вимірювань і теорія точності вимірювань є спільними для всіх вимірювань і утворюють важливу частину наукових основ метрології.

Правовою основою забезпечення єдності вимірювань служить законодавча метрологія – звід

державних актів та нормативно-технічних документів різного рівня, що регламентують метрологічні правила, вимоги та норми.

Технічною базою забезпечення єдності вимірювань є система відтворення певних розмірів величин та передавання інформації про них усім без винятку ЗВТ.

Однією з умов забезпечення єдності вимірювань є відповідність будь-якого ЗВТ, який згідно з міжнародною термінологією є вимірювальним обладнанням, вимогам технічної документації.

Найголовнішим питанням для власника ЗВТ є питання придатності ЗВТ за його метрологічними характеристиками під час його експлуатації. Інакше кажучи, чи відповідає конкретний ЗВТ тим вимогам, які прописані в його технічній специфікації, де вказані нормовані метрологічні характеристики, які дозволяють робити висновок про придатність ЗВТ для вимірювань у відомому діапазоні та з відомою точністю. Найважливішою з метрологічних характеристик ЗВТ, яка визначає відмінність між дійсними та номінальними його властивостями, є максимально допустима похибка *MPE (maximum permissible error)* ЗВТ.

Оцінка невизначеності вимірювань при калібруванні вимірювального обладнання лабораторіями, акредитованими Національним агентством з акредитації України (далі – НААУ) на відповідність вимогам [2], продовжує бути актуальним завданням. Це пов'язано з тим, що процедура встановлення відповідності вимірювального обладнання технічній специфікації має обов'язково враховувати невизначеність вимірювань.

Серед основних розділів методики калібрування є розділ оцінювання невизначеності вимірювань. Як відомо, невизначеність вимірювань є мірою якості вимірюваної величини. Оцінювання якості вимірювань є одним із завдань забезпечення їхньої єдності.

Відсутність стандартизованих методик калібрування, що визначають оцінювання невизначеності вимірювань, складання рівняння вимірювань при калібруванні, бюджету невизначеності вимірювань, принаймні на робочі еталони, які використовують під час повірки ЗВТ, що перебувають в експлуатації та застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології, та підлягають калібруванню, не відповідає вимогам статті 27 [1] і може призвести до порушення єдності вимірювань у такій важливій сфері метрології.

Таким чином, виникає проблема достовірності результатів калібрування вимірювального обладнання, оскільки переважна більшість методик калібрування є розробками акредитованих калібрувальних лабораторій.

Постановка проблеми

Оцінка відповідності продукції, заснована на її технічній специфікації та оцінці вимірювань,

важлива для забезпечення стабільності виробничих процесів та якості продукції. Забезпечення якісних вимірювань гарантує прийняття правильних рішень. Однією з головних гарантій якісних вимірювань є відповідність метрологічних характеристик ЗВТ вимогам технічної специфікації, які визначаються під час метрологічного підтвердження.

За [3], метрологічне підтвердження включає калібрування та верифікацію, які необхідні для гарантування того, що ЗВТ відповідає вимогам щодо його використання за призначеністю.

У контексті метрологічного підтвердження придатності ЗВТ калібрування є важливим процесом щодо забезпечення якості продукції.

Згідно з п. 6.4.6 [2], ЗВТ мають бути відкалібровані, якщо точність вимірювання або невизначеність вимірювання впливає на достовірність отриманих результатів.

Загальновизнаний стандарт [2], який використовується в галузі міжнародної акредитації лабораторій для оцінки компетентності калібрувальних лабораторій, у п. 7.8.4.1 допускає можливість вказівки у сертифікаті калібрування заяви про відповідність специфікації ЗВТ, що калібрується.

З урахуванням п. 3.7 стандарту [2], правило прийняття рішення повинно описувати, як враховується невизначеність вимірювання під час встановлення відповідності зазначеним вимогам.

Як відомо, невизначеність результату вимірювання відображає відсутність повного знання про значення вимірюваної величини. Явища, які сприяють невизначеності, а також тому, що результат вимірювання не може бути охарактеризований унікальним значенням, називають джерелами невизначеності.

Правильне використання наявної інформації для оцінки складових стандартної невизначеності вимірювання вимагає розуміння, заснованого на досвіді та загальних знаннях. Тому достовірність оцінки відповідності відкаліброваного вимірювального обладнання метрологічним вимогам, які регламентовані в технічній специфікації, залежить від правильності оцінювання невизначеності вимірювання при калібруванні.

Виклад основного матеріалу

Згідно з п. 7.6.1 стандарту [2], лабораторія має ідентифікувати складові невизначеності вимірювання.

Існує багато можливих джерел невизначеності вимірювань, у документі [4] серед перелічених джерел є такі:

- суб'єктивна систематична похибка оператора при знятті показань з аналогових ЗВТ;
- кінцева роздільна здатність ЗВТ.

За [5], роздільна здатність показувального пристрою – це найменша різниця між отриманими показаннями, що може бути достатньо розпізнава-

ною. Тобто роздільна здатність – це характеристика ЗВТ, що виражається найменшою відстанню між об'єктами, які фіксуються ЗВТ окремо. Як відомо, за способом відліку значень вимірюваних величин ЗВТ поділяються на показувальні, в тому числі на аналогові та цифрові, та на реєструвальні. Результати вимірювань, здійснених ЗВТ, реєструються відліковими пристроями, які поділяються на шкальні, цифрові та реєструвальні. Відліковий пристрій є частиною конструкції ЗВТ, який призначений для відрахування значення вимірюваної величини. Відліковий пристрій показувального аналогового ЗВТ зазвичай складається зі шкали та вказівника. Показання ЗВТ є значенням вимірюваної величини, що встановлюється за відліком, наприклад, шляхом множення на ціну поділки. Відлік показує за шкалою показувального аналогового ЗВТ проводить оператор, що вносить свою суб'єктивну помилку спостереження в результат вимірювань.

Якщо ознайомитися з бюджетами невизначеності вимірювань із наведених у додатках [4] прикладів розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні таких ЗВТ, як штангенциркуль, портативний цифровий мультиметр, побутовий лічильник води, то можна відзначити, що одним із домінуючих джерел невизначеності є рівномірно розподілена поправка на роздільну здатність вимірювального обладнання.

Аналіз бюджетів невизначеності результатів вимірювання при калібруванні мікрометра гладкого та індикатора лінійних переміщень, який наведено у [6], також показує, що ваговий внесок у сумарну невизначеність вносить стандартна невизначеність зчитування показань, викликана дискретністю мікрометра та дискретністю відліку індикатора, що становить 70,7% та 78,2%, відповідно. Слід відзначити, що у прикладі розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні штангенциркуля з ноніусом [4] внесок у сумарну невизначеність від стандартної невизначеності поправки, що обумовлена кінцевою роздільною здатністю штангенциркуля, становить 45,5%.

Таким чином, у прикладах, що розглядаються у [4] та [6], у бюджет оцінки невизначеності вимірювань при калібруванні аналогових ЗВТ домінуючий внесок робить похибка відліку.

Як правило, кількість складових сумарної невизначеності встановлює розробник методики калібрування, при цьому складова стандартної невизначеності за типом В, що обумовлена поправкою через кінцеву роздільну здатність показань аналогових ЗВТ, входить до бюджетів практично всіх нестандартизованих методик та визначається за формулою:

$$u(\delta_{\text{відл}}) = \frac{q}{2\sqrt{3}}, \quad (1)$$

де q – ціна поділки аналогового ЗВТ, що калібрується.

Така оцінка складової стандартної невизначеності за типом В, що обумовлена поправкою через кінцеву роздільну здатність показань вимірювального обладнання, є дуже надмірною по відношенню до МРЕ, яку нормовано у технічній специфікації аналогового ЗВТ. Наприклад, МРЕ мікрометра гладкого типу МК25 класу точності 2 з ціною поділки 0,01 мм за [7] становить 0,002 мм.

За формулою (1) складова стандартної невизначеності за типом В, що обумовлена поправкою через кінцеву роздільну здатність показань мікрометра, буде дорівнювати 0,0029 мм, що перевищує МРЕ.

Якщо скористатися рекомендаціями [8] щодо відношення максимально допустимої невизначеності МРУ (*maximum permissible uncertainty*) до МРЕ як 1/3 або 1/5, тоді цільова невизначеність при калібруванні мікрометра гладкого МК25 класу точності 2 з ціною поділки 0,01 мм за [7] повинна становити від 0,4 до 0,7 мкм.

Згідно зі стандартом [7], при демонстрації відповідності чи невідповідності специфікаціям слід дотримуватися правила прийняття рішення, що супроводжує специфікації. Якщо в специфікаціях не вказано правило прийняття рішення і не укладено спеціальну угоду між постачальником та замовником, то застосовується правило за замовчуванням ISO 14253-1 [9], яке наголошує, що при здійсненні висновку про придатність ЗВТ вимогам технічної специфікації відповідність вважатиметься доведеною, якщо значення результату калібрування (оцінка систематичної похибки вимірювання) “у” перебуватиме в границях зони відповідності:

$$LSL + U \leq y \leq USL - U, \quad (2)$$

де: LSL (*lower specification limit*) і USL (*upper specification limit*) – відповідно нижня та верхня границі поля допуску (при калібруванні ЗВТ границею поля допуску буде його МРЕ); U – розширена невизначеність вимірювань при калібруванні ЗВТ.

У випадку, коли отримана в результаті калібрування оцінка систематичної похибки знаходиться в безпосередній близькості до границі максимально допустимої похибки, то невизначеність вимірювань може стати причиною неправильного рішення. В цьому разі виникають ризик виконавця послуг з калібрування та ризик замовника послуг з калібрування.

І якщо за результатами калібрування мікрометра МК25 треба буде зробити висновок щодо його відповідності [7], то може статися, що мікрометр виявиться непридатним, хоча відхилення від еталонного значення величини буде у нормованих межах.

Аналіз розширених невизначеностей зі звіту перевірки професійного рівня (далі – ППР) калібрувальних лабораторій з калібрування мікрометра гладкого МК25 “Звіт перевірки професійного рівня

№ С-Л 38330000-7 20/06-III “Ручні прилади для вимірювання відстаней: мікрометр МК-25”, від акредитованого НААУ відповідно до вимог [10] провайдера ДП “Харківстандартметрологія”, свідчить, що за результатами калібрування у п’ятьох із дев’яти учасників (–) мікрометр не відповідає вимогам [7] (табл. 1), і це тільки з урахуванням невизначеності вимірювань. У двох учасників ППР (±) ймовірність відповідності відкаліброваного мікрометра вимогам [7] треба оцінювати залежно від отриманих відхилень від еталонного значення величини.

Отримані значення розширених невизначеностей учасників ППР відрізняються між собою більш ніж у 10 разів – від 0,001 до 0,01291 мм, що вкотре показує, як відсутність стандартизованих методик калібрування вимірювального обладнання не забезпечує єдності вимірювань.

Однією з вагомих причин розбіжності отриманих значень розширених невизначеностей учасників ППР є різні модельні рівняння, в яких враховуються різні складові невизначеності, що оцінюються теж по-різному, особливо це стосується оцінювання невизначеності за методом В.

Стандартна невизначеність вимірювання за методом В оцінюється науковим судженням на основі всієї доступної інформації про можливу мінливість вхідної величини, враховуючи всю наявну інформацію.

До цієї категорії належать такі значення:

- значення інших, раніше проведених вимірювань;
- значення, отримані в результаті досвіду або загальних знань про властивості застосовуваного ЗВТ;
- дані виробника ЗВТ;
- значення, що містяться в сертифікатах калібрування;
- невизначеності вимірювань, пов’язані з довідковими значеннями з технічної літератури.

Треба відзначити, що визначення показань за аналоговою шкалою ЗВТ складається з двох взаємопов’язаних операцій: візуального визна-

чення положення покажчика ЗВТ щодо поділок шкали (позиціонування) та визначення числового значення вимірюваної величини, що відповідає цьому положенню (відлік).

Похибка позиціонування обумовлена такими факторами: помилкою інтерполяції положення покажчика між двома поділками шкали, явищем паралаксу, товщиною покажчика.

Похибка інтерполяції з’являється при недостатньо точній оцінці частки поділки шкали, що відповідає положенню вказівника. Вона визначається частиною поділки показувального пристрою ЗВТ, яку може бути відраховано неозброєним оком. Роздільна здатність людського ока визначається відстанню між світлочутливими рецепторами і сітківкою. Йому відповідає кут поля зору, в межах якого око може розрізнити ледь помітну відстань між двома лініями.

Похибка відліку в кожного оператора певною мірою є систематичною помилкою. Для групи операторів похибки відліку є випадковими помилками. Зазвичай оператор постійно вносить або негативну, або позитивну помилку.

Аналіз особливостей впливу компетентності персоналу на оцінку загальної невизначеності вимірювань при калібруванні вимірювального обладнання зроблено в [11], що, на думку авторів, дозволить калібрувальним лабораторіям зменшити ризики, пов’язані з оцінкою невизначеності під час калібрування.

Помилки спостереження пов’язані з необхідністю визначити збіг вказівника з поділкою шкали. Численними дослідженнями доведено, що похибку відліку за шкалами може бути прийнято в середньому рівною 0,2 від ціни поділки шкали [12]. Взагалі, розподіл систематичних похибок відраховання десятих часток поділки безліччю спостерігачів можна вважати рівномірним із межами $\pm 0,1$ поділки.

Таким чином, поправка $\delta_{відл}$, що враховує роздільну здатність мікрометра гладкого з ціною поділки 0,01 мм за [7], становитиме 0,001 мм. Тоді стандартна невизначеність оцінки поправки, що

Таблиця 1

Результати ППР калібрувальних лабораторій з калібрування мікрометра МК25

№ з/п	Шифр учасника	Розширена невизначеність у точці калібрування 5,12 мм, U , мм	Відповідність вимогам [7] мікрометра МК25 з урахуванням невизначеності вимірювань
1	МК-1	0,01291	–
2	МК-2	0,0013	+
3	МК-3	0,005774	–
4	МК-4	0,001	+
5	МК-5	0,002	±
6	МК-6	0,01	–
7	МК-7	0,002	±
8	МК-8	0,006	–
9	МК-9	0,0116	–

Виписка зі “Сфер акредитацій” акредитованих калібрувальних лабораторій з калібрування мікрометрів

№ з/п	Найменування КЛ	Об'єкт калібрування	Діапазон або точка вимірювань, у яких проводиться калібрування	Розширена невизначеність вимірювань U ($k=2$)	Позначання нормативних документів на методи калібрування
1	ДП “Вінницька-стандарт-метрологія”	Мікрометри	0,1–600 мм	0,6–12,0 мкм	МК 030-200-2015
2	ТОВ “Тестметр-стандарт”, м. Житомир	Мікрометри	Від 0 до 100 мм Від 100 до 250 мм	Від 10^{-3} до $1,5 \times 10^{-2}$ мм Від $1,5 \times 10^{-2}$ до 2×10^{-2} мм	МК 01-05 від 22.02.2023 Прямі вимірювання
3	Черкаська філія ДП “Полтава-стандарт-метрологія”	Мікрометри	0–500 мм	0,0030 мм	МК 07-01-03
4	ДП “Харків-стандарт-метрологія”	Інструмент мікрометричний: (мікрометричні головки, мікрометри всіх типів, глибиноміри мікрометричні, нутроміри мікрометричні, засоби з вбудованими мікрометричними головками та подібні)	0–25 мм	1,4 мкм	СОУ 74.3-04725906-0090:2012
			25–600 мм	1,8 мкм	
			600–6000 мм	$(2 + 5 \times L)$ мкм	
5	ДП “Дніпро-стандарт-метрологія”	Мікрометри та мікрометричні прилади	0–1400 мм	0,5–6,0 мкм	МК Д 08/66-2018 Прямі вимірювання
6	Криворізька філія ДП “Дніпро-стандарт-метрологія”	Мікрометричні прилади (мікрометричні головки мікрометричні, нутроміри мікрометричні)	Від 0 до 2000 мм	0,06 мкм	МК 01/07 МК 01/20 Прямі вимірювання
7	Рівненська філія ДП “Львів-стандарт-метрологія”	Мікрометри	0–300 мм	1 мкм	КЛМЦ-МК-001 від 02.09.2024
8	ДП “Київобл-стандарт-метрологія”	Мікрометри та мікрометричні прилади	1–1000 мм	1,5–6,0 мкм	МК 01-04:2015 Прямі вимірювання
9	Волинська філія ДП “Львів-стандарт-метрологія”	Мікрометри	0–600 мм	0,003 мм	МК L ПХ41–2018
10	ДП “Івано-Франківськ-стандарт-метрологія”	Мікрометри	0–500 мм	1 мкм	МК 019 РД/01:2023
11	Сумська філія ДП “Полтава-стандарт-метрологія”	Мікрометричний інструмент	0–600 мм	0,003 мм	МК.РУ.002:2022
12	ТОВ “Рівне-стандарт”, м. Рівне	Мікрометри, товщиноміри, мікроінструмент, індикатори годинникового типу тощо	0–1500 мм	0,3–6,5 мкм	МК-L-16-2022 Прямі вимірювання
13	ТОВ “Технічний центр діагностики та експертизи”, м. Дніпро	Мікрометричний інструмент	0,005–300 мм	0,001–0,01 мм	МК ВМК ЗВТ НК-010
14	КЛ ТОВ “МЕТРОЛОДЖІ СЕРВІС”, м. Київ	Мікрометри	0–300 мм	2–12 мкм	МК 39, 2022
15	КЛ ТОВ Калібрувальна лабораторія “МЕТРОЛОГІЯ”, м. Харків	Мікрометричний інструмент	0,5–25 мм	0,5–10 мкм	МК 26.5-43692918-010:2020 МК 26.5-43692918-011:2020

враховує роздільну здатність мікрометра гладкого, в припущенні прямокутного закону розподілу буде визначатися за формулою:

$$u(\delta_{\text{відл}}) = \frac{\delta_{\text{відл}}}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

та становитиме $u(\delta_{\text{відл}}) = 0,00058$ мм, що у 5 разів менше, ніж у [6].

Аналіз “Сфер акредитації” калібрувальних лабораторій, акредитованих НААУ на калібрування мікрометрів (табл. 2), свідчить про таке:

1. Усі калібрувальні лабораторії проводять калібрування мікрометрів за власноруч розробленими методиками калібрування.

2. Деякі калібрувальні лабораторії привели широкий спектр видів мікрометричного інструменту, калібрування яких потребує застосування різних робочих еталонів, методів, рівнянь вимірювань та складових бюджету невизначеностей вимірювань. Додавання до назв об'єктів калібрування “тощо”, “та подібне” перетворює такі переліки в необмежені; подання такої інформації про калібрувальні та вимірювальні можливості (Calibration and Measurement Capability – СМС) не дає змоги замовникам послуг визначити дійсні СМС лабораторії з калібрування мікрометрів.

3. Більш ніж половина калібрувальних лабораторій застосовували один метод для вираження СМС – діапазон вимірювання. Згідно з [13], у цьому випадку лабораторія повинна забезпечити

лінійну інтерполяцію для отримання невизначеності проміжних значень діапазону вимірювань.

4. СМС лабораторій № 3, 9, 11 при калібруванні мікрометра гладкого типу МК25 перевищують його МРЕ: СМС = 0,003 мм > МРЕ = 0,002 мм за [7].

Слід зауважити, що акредитовані калібрувальні лабораторії не можуть вказувати у сертифікаті калібрування розширену невизначеність вимірювань менше, ніж та, що заявлена у “Сфері акредитації” як найкраща калібрувальна можливість, бо це буде порушенням вимоги п. 6.5 [13]. Взагалі результати калібрування є корисними лише за умови, що невизначеність вимірювань є достовірною та достатньо малою для виконання конкретного калібрування.

Висновки

1. Розробка стандартизованих методик калібрування робочих еталонів, принаймні тих, що застосовуються при повірці законодавчо регульованих ЗВТ, є гарантією забезпечення єдності вимірювань у законодавчо регульованій сфері метрології.

2. Похибку відліку за шкалами аналогових ЗВТ може бути прийнято в середньому рівною 0,2 від ціни поділки шкали. Тоді розподіл систематичних похибок відрахування десятих часток поділки можна вважати рівномірним з межами $\pm 0,1$ поділки.

3. Для аналізу СМС калібрування ЗВТ лабораторії треба зважати на встановлення цільової невизначеності при калібруванні, яка повинна становити не більш ніж 1/3 від МРЕ вимірювального обладнання.

Analysis of the influence of the estimate of standard measurement uncertainty as a result of a correction due to the finite resolution of the readings on the decision on the measuring equipment conformity during calibration

O. Novoselov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave., 14, 61166, Kharkiv, Ukraine
oanovoselov@ukr.net

Abstract

The paper considers the features of the evaluation of the component of standard measurement uncertainty of type B as a result of a correction due to the finite resolution of the readings of measuring equipment during calibration.

The problem of carrying out the procedure for establishing the compliance of the measuring equipment with the technical specification based on the results of its calibration is stated. It is emphasized that the procedure shall necessarily account for the measurement uncertainty. In this regard, the metrological characteristics of the measuring equipment after calibration may not meet the requirements of the technical specification.

The calibration and measurement capabilities of accredited laboratories when calibrating a smooth micrometer MK25 for compliance with the technical specification according to the results of its calibrations are analysed.

It is shown that the component of standard measurement uncertainty of type B as a result of a correction due to the resolution of the readings of analogue measuring instruments cannot be dominant in the uncertainty budget.

It is proposed to consider the establishment of a target uncertainty during calibration for the analysis of the calibration and measurement capabilities of measuring equipment in the laboratory.

At the same time, the reliability of the evaluation of measurement uncertainty during the calibration of measuring equipment depends on the correct choice of appropriate procedures. Therefore, at the legislative level, namely in the Law of Ukraine “On Metrology and Metrological Activities”, it is established that the measurement equipment results are calibrated and registered in accordance with national standards harmonized with relevant international and European standards, and documents approved by international and regional metrology organizations.

Keywords: measurement uncertainty; maximum permissible error; measuring equipment; measurement uniformity; calibration; metrological confirmation; calibration procedure.

Список літератури

1. Закон України від 05.06.2014 № 1314–VII “Про метрологію та метрологічну діяльність”.
2. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT).
3. ДСТУ ISO 10012:2005. Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003, IDT).
4. EA-4/02 M:2022. Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration.
5. ISO/IEC Guide 99:2007. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). International Organization for Standardization, 2007. 92 p.
6. Кепещук Т.В., Пастущин Л.Б. Методичні аспекти калібрування засобів вимірювальної техніки геометричних величин. *Методи та прилади контролю якості*. 2024. № 1. С. 5–14. doi: 10.31471/1993-9981-2024-1(52)-5-14
7. ISO 3611:2023. Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional measuring equipment – Design and metrological characteristics of micrometers for external measurements.
8. ДСТУ OIML G 19:2018. Роль невизначеності вимірювання під час прийняття рішень про оцінку відповідності в законодавчо регульованій метрології (OIML G 19:2017, IDT).
9. ISO 14253-1:2017. Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for verifying conformity or non-conformity with specifications.
10. ДСТУ EN ISO/IEC 17043:2017. Оцінка відповідності. Загальні вимоги до перевірки професійного рівня (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT).
11. Eremenko V., Mokiichuk V., Pashchenko N., Samoilenko O., Priadko O. Analysis of the

- impact of personnel competency on uncertainty during calibration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, vol. 3, no. 3(117), pp. 35–42. doi: 10.15587/1729-4061.2022.259779
12. Bekström X. Oshibki nablyudatelya pri otschityivanii po shkalam izmeritelnykh priborov [Errors of the observer during deductions from the scales of measuring instruments]: trans. from German, B.N. Zimin (Ed.). Moscow, 1934. 112 p.
 13. ILAC-P14:09/2020. Політика ILAC щодо невизначеності вимірювань в калібруванні.

References

1. The Law of Ukraine “On metrology and metrological activity” dated June 5, 2014 No. 1314–VII (in Ukrainian).
2. DSTU EN ISO/IEC 17025:2019. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT) (in Ukrainian).
3. DSTU ISO 10012:2005. Measurement control systems. Requirements for measurement processes and measuring equipment (ISO 10012:2003, IDT) (in Ukrainian).
4. EA-4/02 M:2022. Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration.
5. ISO/IEC Guide 99:2007. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). International Organization for Standardization, 2007. 92 p.
6. Kepeschuk T.V., Pastushchyn L.B. Metodichni aspekty kalibruvannia zasobiv vymiriuvальноi tekhniky heometrychnykh velychyn [Methodological aspects of calibration of measuring instruments of geometric quantities]. *Methods and Devices of Quality Control*, 2024, no. 1, pp. 5–14. doi: 10.31471/1993-9981-2024-1(52)-5-14
7. ISO 3611:2023. Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional measuring equipment – Design and metrological characteristics of micrometers for external measurements.

8. DSTU OIML G 19:2018. The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology (OIML G 19:2017, IDT) (in Ukrainian).
9. ISO 14253-1:2017. Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for verifying conformity or non-conformity with specifications.
10. DSTU EN ISO/IEC 17043:2017. Assessment of conformity. The main requirements for conducting a qualification check (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT) (in Ukrainian).
11. Eremenko V., Mokiichuk V., Pashchenko N., Samoilenko O., Priadko O. Analysis of the impact of personnel competency on uncertainty during calibration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, vol. 3, no. 3(117), pp. 35–42. doi: 10.15587/1729-4061.2022.259779
12. Bekström X. Oshibki nablyudatelya pri otschityivanii po shkalam izmeritelnyih priborov [Errors of the observer during deductions from the scales of measuring instruments]: trans. from German, B.N. Zimin (Ed.). Moscow, 1934. 112 p.
13. ILAC-P14:09/2020. ILAC Policy on Measurement Uncertainty in Calibration (in Ukrainian).