

### SECTION 3. DEVICES

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.1.3.1

## **3.1 Підвищення точності вимірювання мікрометричних приладів у лабораторіях**

### **3.1.1. Вступ**

В сучасному світі, де високоточність і надійність мають вирішальне значення для якості продукції та результативності досліджень, метрологія стає невід’ємною складовою кожної лабораторії та виробничого процесу. Забезпечуючи простежуваність, точність і узгодженість вимірювального обладнання на всій планеті, метрологія не лише гарантує вірогідність результатів, але й убезпечує від розбіжностей та непослідовностей у вимірюваннях.

Наука про вимірювання, метрологія, виступає як ключовий фактор у забезпеченні відповідності продукції встановленим стандартам та вимогам. Незалежно від галузі, точні вимірювання є гарантією якості та надійності у виробництві. Серед важливих приладів у цьому контексті особливе місце займають мікрометричні прилади, такі як мікрометри, які забезпечують високоточні вимірювання у різноманітних галузях, від машинобудування до медицини.

Проте, навіть у сучасному технологічному середовищі, точність вимірювань може піддаватися ризикам, таким як знос, технічні несправності та зовнішні впливи. Це вимагає систематичного підходу до підтримки та підвищення точності вимірювань мікрометричних приладів у лабораторіях.

Таким чином, в контексті нашої дослідницької роботи, вивчення методів та стратегій, спрямованих на збільшення точності вимірювань мікрометричних приладів, виявляється актуальним та необхідним завданням. Забезпечення найвищого рівня точності у вимірюваннях є ключовим аспектом нашої наукової діяльності, який має вирішальне значення для досягнення найкращих результатів і впливу на індустріальні та наукові процеси.

### **3.1.2. Недоліки**

Встановлено, що вимірювання в різних лабораторних умовах можуть відрізнятися за своєю природою, тому узагальнення стратегій для підвищення точності може бути складним. Крім того, деякі технічні дефекти мікрометричних приладів скоріше всього будуть поза контролем користувача або оператора, які здатні змінити ефективність заходів щодо підвищення точності. Стрімкий розвиток вимірювальних технологій і методів вимагає постійного оновлення знань і навичок співробітників, що є дорогим за часом і ресурсами.

Незважаючи на ці недоліки, важливо продовжувати дослідження та вдосконалювати методи підвищення точності вимірювань мікрометричних приладів у лабораторіях.

### **3.1.3. Мета роботи**

Метою роботи є отримання практичних рекомендацій, які допоможуть лабораторіям забезпечити високу точність вимірювань мікрометричними приладами.

### **3.1.4. Визначення мікрометричних приладів**

Мікрометричні прилади є широко розповсюдженими універсальними засобами вимірювання і використовуються в умовах різноманітного виробництва. Мікрометричні прилади мають вищу точність, ніж штангенінструменти, і тому використовуються для контролю більш відповідальних деталей машин та механізмів (7 - 8 квалітет). Метод вимірювання мікрометричними приладами – прямий, абсолютний, у деяких - відносний, не прямий [96].

За конструктивним виконанням мікрометри належать до вимірювальних приладів, оскільки вони створюють візуальний сигнал вимірювальної інформації – відлік здійснюють за шкалами або цифровому дисплею.

### 3.1.5. Вплив калібрування на точність вимірювання

Калібрування засобів вимірювання це найважливіше рішення для забезпечення надійних результатів вимірювань за допомогою засобів вимірювань та обладнання, використовуваних у лабораторії. Процес калібрування полягає в зовнішньому огляді, перевірці працездатності, за необхідності налаштуванні приладу та визначенні його метрологічних характеристик, обчислення невизначеності вимірювання. Регулярне калібрування дозволяє бути впевненим, що вимірювальні прилади та обладнання працюватиме належним чином.

Для того, щоб зменшити ризики, пов'язані з прийняттям рішень, необхідно знизити невизначеність вимірювання до прийнятного рівня, який називається «цільовою невизначеністю». Для того, щоб зменшити невизначеність конкретного вимірювання, необхідно зосередитися на зменшенні невизначеностей, що виникають з відповідних компонентів. Завжди існують різні рішення для зменшення невизначеностей, що виникають у зв'язку з кожним інклюзивним компонентом. Таким чином, серед кількох можливих альтернатив слід вибрати рішення, яке зменшить невизначеності, що виникають з кожного відповідного компонента, і накладе найнижчі витрати на систему вимірювання для «цільової невизначеності». Математична модель, представлена в даній роботі, може бути використана при оптимізації невизначеності вимірювань у багатьох лабораторіях, які вимагають зниження невизначеності та ризиків, пов'язаних з прийняттям рішень на основі результатів вимірювань [88].

#### Базовий алгоритм оцінювання невизначеності вимірювань мікрометрів

Схема калібрування мікрометричних приладів наведена на рис. 1 [99].

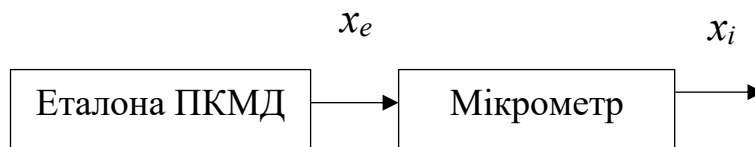


Рис. 1. Схема прямого вимірювання мікрометра, що калібрується, величини, що відтворюється еталонною мірою

#### 1 Складання рівняння вимірювань

До входніх величин відноситься безпосередньо величина, яка вимірюється за допомогою еталонного ЗВТ. При цьому оцінюється різниця між значенням

вимірюваної величини та значенням еталонного ЗВТ. Також в рівняння вимірювань входять величини, що впливають, значення яких та їх невизначеності відомі з зовнішніх джерел.

|                                                                                                   |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Рівняння вимірювань виражає залежність між вихідною $Y$ та вхідними $X_1, \dots, X_n$ величинами. | $Y = f(X_1, \dots, X_n)$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|

## 2 Оцінка стандартної невизначеності типу А

Невизначеність типу А обчислюють як стандартну невизначеність  $u_A$ , яка обумовлена джерелами невизначеності, що мають випадковий характер при виконанні вимірювань.

|                                                                                                                              |                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Обчислення середнє арифметичне результатів вимірювань $i$ -й вхідний величини                                                | $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$ <p>де <math>x_i</math> – значення <math>i</math>-й вхідний величини;</p> <p><math>n</math> – кількість вимірювань</p> |
| Обчислення стандартної невизначеності $u_A$ типу А як середнє відхилення результату вимірювання вхідної величини за формулою | $u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$                                                                                                  |

## 3 Оцінка стандартної невизначеності типу В

Невизначеність за типом В обчислюють як стандартну невизначеність величини, що впливають, яка обумовлена джерелами, що мають систематичний характер.

Величини, що впливають:

- $\Delta_s$  – поправка, що враховує невизначеність вимірювання еталонної міри при калібруванні;
- $\Delta_n$  – поправка, що враховує невизначеність відхилення еталонної міри від номінального значення;

- $\Delta t$  – неточність вимірювання, яка обумовлена різницею температур мікрометра, що калібрується та кінцевої міри довжини, що використовуються при калібруванні;
- $\Delta m$  - вплив механічних ефектів;
- $\Delta^*$  – неточність зняття відліку оператором (для мікрометрів з відліком за шкалами стебла і барабана) або дискретністю відліку мікрометрів з цифровим відліковим пристроєм.

#### 4 Визначення коефіцієнта чутливості

Коефіцієнти чутливості  $c_i$  показує як оцінка вихідної величини у змінюється зі зміною оцінок вхідних величин  $x_i$ .

|                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Коефіцієнт чутливості визначається як похідна вихідної величини до кожної з вхідних величин                                                                                              | $(c_i = \partial y_i / \partial x_i)$ <p>При прямих вимірюваннях коефіцієнти чутливості є рівними 1.</p>                                                                                          |
| 5 Сумарна стандартна невизначеність за типом В складає                                                                                                                                   | $u_B = \sqrt{\sum [c_i (u^2(x_i))]}$ <p>де <math>u(x_i)</math> – стандартна невизначеність за типом В <math>i</math>-тої величини, що впливає;<br/> <math>c_i</math> – коефіцієнт чутливості.</p> |
| 6 Сумарна стандартна невизначеність $u_C$                                                                                                                                                | $u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$                                                                                                                                                                      |
| 7 Визначення коефіцієнта охоплення<br>Коефіцієнт охоплення представляє собою множник, на який множать стандартну сумарну оцінку невизначеності для отримання стандартної невизначеності. | У разі нормального закону розподілу ймовірностей коефіцієнт охоплення приймається рівним 2 для рівня довіри 0,95.                                                                                 |
| 8 Оцінка розширеної невизначеності                                                                                                                                                       | $U = k \cdot u_c$ <p>де <math>k</math> – коефіцієнт охоплення.</p>                                                                                                                                |

9 Представлення невизначеності вимірювань в сертифікатах калібрування

|                                                                                                                     |                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Представлення невизначеності вимірювань в сертифікатах калібрування проводиться відповідно до ІЛАС-P14:01/2013 [89] | $(\bar{x}_i \pm U),$<br>де $\bar{x}_i$ – середнє значення показів мікрометра, мм. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|

10 Порядок складання бюджету невизначеності вимірювань

Аналіз невизначеності вимірювання (бюджет невизначеності) містить список вхідних величин, їх оцінок зі стандартними невизначеностями вимірювання, законами їх розподілу та числом ступенів свободи:

- для невизначеності типу А, отриманої з багатократних повторних спостережень, число ступенів свободи  $V_i$  на одиницю менше числа проведених спостережень  $V_i = n_i - 1$ .
- для невизначеності типу В число ступенів свободи дорівнює безкінечності ( $\infty$ ).

Таблиця 1 - Бюджет невизначеності

| Вхідна величина, $X_i$                                            | Оцінка вхідної величини $x_i$ | Тип невизначеності | Число ступенів свободи | Коэф. чутл. $c_i = dy/dx_i$ | Розподілення ймовірностей | Вклад в сумарну невизначеність, $u_i(y)$ |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------------|
| Випадкова складова                                                | $\bar{x}$                     | A                  | n-1                    | 1                           | Нормальний закон          | $u_A$                                    |
| Невизначеність вимірювання еталонних мір довжини при калібруванні | $\Delta_s$                    | B                  | $\infty$               | 1                           | Рівномірний закон         | $u(\Delta_s)$                            |
| Відхилення еталонної міри від номінального значення               | $\Delta_n$                    | B                  | $\infty$               | 1                           | Рівномірний закон         | $u(\Delta_n)$                            |
| Різниця температура еталонних мір довжини та мікрометра           | $\Delta_t$                    | B                  | $\infty$               | 1                           | Рівномірний закон         | $u(\Delta_t)$                            |
| Сумарні механічні ефекти                                          | $\Delta_m$                    | B                  | $\infty$               | 1                           | Рівномірний закон         | $u(\Delta_m)$                            |

Продовження таблиці 1

|                                                              |                                |                                         |          |                         |                      |                             |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|----------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Ціна поділки<br>або<br>дискретність<br>відліку<br>мікрометра | $\Delta^*$                     | B                                       | $\infty$ | 1                       | Рівномірний<br>закон | $u(\Delta^*)$               |
| Вихідна<br>величина                                          | Оцінка<br>вихідної<br>величини | Сумарна<br>стандартна<br>невизначеність | -        | Коефіцієнт<br>охоплення | Рівень довіри        | Розширена<br>невизначеність |
| Y                                                            | $\bar{x}$                      | $u_c$                                   | -        | 2                       | $p=0,95$             | U                           |

### 3.1.6. Умови вимірювання при калібруванні

Правильно підготовлені та контрольовані умови вимірювання є ключовими для успішного та надійного калібрування мікрометричних приладів. Їх відповідне дотримання допомагає забезпечити точність, вірогідність та повну відстежуваність кожного калібрування.

Умови експлуатації мікрометричних приладів:

- Температура робочого простору в процесі вимірювання:  $(20 \pm 5)^0$  С.
- Відносна вологість повітря: 80% .
- Вміст у навколишньому середовищі агресивних газів і парів не допускається.

Таблиця 2 – Умови вимірювання при калібруванні мікрометрів

| Показник                 | Умова                                                                                                 | Вимоги                                                                                                                                              |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Стабільність температури | Температура має значний вплив на розширення та зміну розмірів деталей мікрометрів.                    | Необхідно забезпечити стабільні умови температури під час калібрування, наприклад, за допомогою кліматичних камер або регульованих умов середовища. |
| Вологість                | Підвищена вологість може призвести до корозії деталей мікрометрів, що може впливати на їхню точність. | Необхідно контролювати рівень вологості у приміщенні під час калібрування.                                                                          |
| Чистота                  | Бруд або забруднення на деталях мікрометрів може призвести до неточних результатів вимірювань.        | Необхідно, щоб деталі були чистими перед кожним калібруванням.                                                                                      |
| Освітлення               | Для точних вимірювань важливо мати достатнє освітлення, щоб оператор міг чітко бачити шкалу           | Освітлення повинно бути рівномірним по всій робочій області. Розташоване таким чином, щоб уникнути утворення тіней на деталях під час вимірювань.   |

Продовження таблиці 2

|                                  |                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  | мікрометра та деталі, які вимірюються.                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Стійкість умов                   | Умови вимірювання повинні бути стабільними протягом усього процесу калібрування, щоб уникнути будь-яких змін, які можуть вплинути на результати. | Контролювати температуру, рівень вологості, джерела електромагнітних перешкод та мати стабільне електропостачання у приміщенні протягом всього процесу вимірювання.<br>Розміщувати лабораторні пристрої у зоні, де вплив вібрацій і шуму буде мінімальним. |
| Вимоги до допоміжного обладнання | Важливо мати належне допоміжне обладнання, таке як калібри або мікрометричні ділянки, які використовуються для перевірки точності мікрометрів.   | Допоміжне обладнання повинно бути високої точності та довговічності, щоб забезпечити правильність та стабільність результатів.<br>Використовувати комп'ютерні програми для обробки даних та збереження результатів вимірювань.                             |
| Вимоги до персоналу              | Лабораторний персонал повинен мати відповідну кваліфікацію та сертифікацію для виконання своїх обов'язків                                        | Персонал повинен отримувати систематичне навчання та тренінг зі використання вимірювального обладнання, методів вимірювань та обробки даних для забезпечення точних та надійних результатів.                                                               |

Загалом, створення стабільних та контрольованих умов вимірювання є важливим для забезпечення точності процесу калібрування мікрометрів і отримання достовірних результатів.

### 3.1.7. Точності вимірювань у лабораторіях

Точність вимірювань у лабораторіях залежить від різних чинників, таких як технічні характеристики приладів, умови вимірювання, якість зразків та кваліфікація операторів. Лабораторія має забезпечувати міцну основу для надійних вимірювань, що ґрунтуються на визнаних стандартах. Це забезпечує впевненість у точності та надійності результатів, які використовуються у різних галузях (рис. 2).

Отримання точних результатів вимірювань, проведених у лабораторії, є вкрай важливим. Розглянемо кроки, які допоможуть забезпечити точність результатів вимірювання у лабораторії:

*1. Лабораторне вимірювальне обладнання повинно бути відкаліброване.*

Калібрування забезпечує точні показання приладів і допомагає усунути систематичні помилки, а також дозволяє відстежувати вимірювання.

*2. Необхідно проводити планове технічне обслуговування та очищення*

*лабораторного обладнання.* Регулярне технічне обслуговування та очищення допомагають зменшити ймовірність бруду, пилу чи інших забруднень, що заважають вимірюванням.

*3. Подвійна перевірка вимірювань.*

Подвійна перевірка вимірювань виявляє недоліки або невідповідності в обладнанні, що використовується, наприклад неправильне калібрування або несправні деталі, які впливають на точність результатів. Допомагає виявити людські помилки, які можуть виникнути під час вимірювання, наприклад, неправильний запис значень або неправильне тлумачення показань приладу.

*4. Необхідно документувати всі етапи експерименту.*

Письмова документація дозволяє переглядати результати в майбутньому. Документація дає дослідникам більше впевненості у результатах, оскільки є докази того, що всі кроки були виконані належним чином і точно.

*5. Необхідно забезпечити належне навчання.*

Персонал лабораторії має бути навчений тому, як правильно використовувати обладнання, розуміти протоколи безпеки та належним чином записувати результати. Професіоналізм допомагає зменшити ймовірність людських помилок під час проведення вимірювань та забезпечити узгодженість збору даних, полегшуючи дослідникам порівняння різних наборів результатів окремих експериментів протягом певного часу.

*6. Необхідно періодично переглядати процеси.*

Дослідники повинні визначати області, які потребують коригування або вдосконалення, регулярно переглядаючи процеси та процедури для забезпечення точності результатів вимірювань в лабораторії, що допоможе усунути систематичні помилки, які можуть виникнути через вади конструкції обладнання або людську помилку.

| ПРОСТЕЖУВАНІСТЬ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ТОЧНІСТЬ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ВІДТВОРЮВАНІСТЬ                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Є ключем до забезпечення вірогідності вимірювань. Вона передбачає встановлення задокументованого безперервного ланцюга калібрування, який пов'язує точність вимірювального приладу з одиницями СІ через Національний метрологічний інститут. Роблячи це, можна з упевненістю покладатися на покази вимірювань, отримані приладом.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Означає ступінь відповідності між вимірним значенням і фактичним значенням вимірюваної величини. Використання єдності вимірювання мінімізує помилки та відхилення завдяки використанню відстежуваних точних еталонних стандартів, з якими техніки з калібрування можуть порівнювати вимірювальні прилади, таким чином підвищуючи точність показань, які видають прилади.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Означає принцип, що якщо точна процедура вимірювання відтворюється за тих самих умов, вона дасть повторювані результати. Відтворюваність досягається за допомогою стандартизованих процедур, надійних вимірювальних інструментів і дотримання встановленої практики.</li> </ul> |

Рис. 2. Надійна основа лабораторних вимірювань

Ця основа підвищує надійність наукових досліджень, виробничих процесів та різноманітних інших застосувань мікрометричних приладів.

### 3.1.8. Висновки

1. Підвищення точності вимірювань мікрометричних приладів у лабораторіях потребує комплексного підходу та системних заходів для досягнення найкращих результатів.

2. Правильне калібрування мікрометрів дозволяє гарантувати їх точність і надійність в процесі експлуатації. Оскільки мікрометричні прилади часто використовуються у виробництві, дослідженнях та інженерії для вимірювання розмірів деталей, важливо, щоб вони були відкалібровані. Регулярне калібрування, а також стабілізація умов середовища під час вимірювань мікрометрами є важливою практикою для підтримки їх точності з часом.

3. Періодичність калібрування повинна відповідати вимогам стандартів і виробничих процесів. Усі процедури калібрування повинні супроводжуватися відповідною документацією, яка зберігається та використовується для відстеження історії калібрування та визначення необхідності моніторингу.