



Всеукраїнська громадська організація  
Асоціація технологів-машинобудівників України  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  
НАН України

Академія технологічних наук України

ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»

ТОВ «НПП РЕММАШ»

Український державний університет залізничного транспорту

Суспільство інженерів-механіків НТУ України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПАТ «Ільницький завод МЗО»

Машинобудівний факультет Белградського університету

# **ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ**

**Матеріали 24-ї Міжнародної  
науково-технічної конференції**

*26–27 червня 2024 р.*

Київ – 2024

**Інженерія поверхні та реновація виробів:** Матеріали 24-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 26–27 червня 2024 р. – Київ: АТМ України, 2024. – 134 с.

### **Наукові напрямки конференції**

- Наукові основи інженерії поверхні:
  - матеріалознавство
  - фізико-хімічна механіка матеріалів
  - фізико-хімія контактної взаємодії
  - зносо- та корозійна стійкість, міцність поверхневого шару
  - функціональні покриття поверхні
  - технологічне управління якістю деталей машин
  - питання трибології в машинобудуванні
- Технологія ремонту машин, відновлення і зміцнення деталей
- Впровадження стандартів ДСТУ ISO 9001 у промисловості, вищих навчальних закладах, медичних установах і органах державної влади
- Метрологічне забезпечення ремонтного виробництва
- Екологія ремонтно-відновлювальних робіт

**Матеріали представлені в авторській редакції**

© АТМ України,  
2024 р.

В процесі виконання досліджень розроблено методику визначення констант рівняння зносу: енергії активації ( $E_A$ ), а також максимально-го вагового, та лінійного зносу, які можуть бути використані, як критерії вибору найбільш раціональної технології нанесення бабітового покриття.

### **Література**

1. Тарельник, Н.В. Спосіб складання підшипників ковзання: Пат. на корисну модель №150743. Україна. МПК В23Н 5/00 / Н.В. Тарельник. – Опубл. 06.04. 2022, Бюл. №2.

2. Гапонова, О.П. Новий спосіб складання підшипників ковзання відцентрових насосів, які працюють в умовах радіаційного опромінювання / О.П. Гапонова, В.С. Марцинковський, Н.В. Тарельник, В.М. Зубко, М.Ю. Думанчук // Наук. вісник Івано-Франківського нац. техн. ун-ту нафти і газу. – 2022. – №73. – С. 7–15.

*Тимофеева Л.А., Сергеев О.В., Волошина Л.В.*  
Український державний університет залізничного  
транспорту, Харків, Україна

## **КАЛІБРУВАННЯ СУБМІКРОННОГО МІКРОМЕТРА У МЕТРОЛОГІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ: ПОКРАЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ВІДТВОРЮВАНOSTІ**

Калібрування субмікронних мікрометрів є важливим етапом у забезпеченні точності вимірювань у промисловості та наукових дослідженнях. Метрологічні лабораторії відіграють ключову роль у цьому процесі, забезпечуючи відповідність приладів вимогам стандартів та нормативних документів. У цій роботі розглянемо основні калібрувальні міри, стандарти, вимоги та процес калібрування субмікронного мікрометра, а також запропонуємо методи покращення точності та відтворюваності вимірювань.

Субмікронний мікрометр – це вимірювальний прилад, призначений для вимірювання з високою точністю, часто до нанометрів (1 нм = 0,001 мкм). Калібрування субмікронних мікрометрів здійснюється з використанням високоточних калібрувальних мір, які є еталонами для визначення точності вимірювань.

Основними стандартами, які регулюють процес калібрування, є ISO 17025, що встановлює вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій, ISO 10360, який визначає технічні вимоги до координатних вимірювальних машин, та ISO 3650, що регламентує вимоги до калібрувальних блоків. Ці стандарти забезпечують точність та відтворюваність вимірювань, що є критично важливими для метрологічної практики.

Процес калібрування субмікронних мікрометрів повинен відповідати високим вимогам щодо точності, стабільності та відтворюваності результатів. Точність означає мінімальну похибку вимірювань, стабільність – збереження точності показань приладу протягом тривалого часу, а відтворюваність – отримання однакових результатів при повторних вимірюваннях у тих самих умовах.

Калібрування проводиться в контрольованих умовах, зокрема при температурі  $20 \pm 0,5$  °C та відносній вологості 40-60%. Важливим аспектом є чистота лабораторії, оскільки забруднення можуть негативно вплинути на точність вимірювань.

Процес калібрування субмікронного мікрометра починається з підготовчого етапу, який включає огляд приладу на наявність механічних пошкоджень та його очистку від пилу та забруднень. Після цього здійснюються вимірювання з використанням калібрувальних блоків з відомими розмірами, що дозволяє встановити еталонні значення.

Вимірювання проводяться шляхом порівняння показів мікрометра з еталонними значеннями. Різниця між виміряними та еталонними значеннями визначає похибку приладу. Для точності та відтворюваності вимірювань важливо використовувати високоточні калібрувальні міри та дотримуватися всіх вимог до умов калібрування.

Мікрогвинт є ключовим елементом у конструкції мікрометра, що визначає точність його показань. Для забезпечення високої точності субмікронного мікрометра важливо враховувати кількість обертів мікрогвинта. Зазвичай, один повний оберт мікрогвинта відповідає переміщенню вимірювального стрижня на 0,5 мм. Для досягнення субмікронної точності необхідно використовувати мікрометри з точною шкалою, де один оберт мікрогвинта може бути поділений на 100 або більше поділок, забезпечуючи точність вимірювань до 0,01 мкм або 10 нм.

Розглянемо як приклад мікрометр МІКРОТЕХ – сучасний прилад, що забезпечує високу точність вимірювань завдяки своїй конструкції та використанню інноваційних технологій. Мікрометри МІКРОТЕХ оснащені високоточними мікрогвинтами, що дозволяють

здійснювати вимірювання з точністю до 0.001 мкм. Крім того, вони мають цифровий дисплей, який спрощує зчитування результатів та зменшує можливість людської помилки.

При калібруванні мікрометрів використовуються такі основні формули:

1. Формула обчислення похибки вимірювання:

$$\Delta = V_m - V_e, \quad (1)$$

де  $\Delta$  – похибка вимірювання;  $V_m$  – виміряне значення;  $V_e$  – еталонне значення.

2. Формула середньої похибки:

$$\Delta_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}, \quad (2)$$

де  $\Delta_{cp}$  – середня похибка;  $n$  – кількість вимірювань;  $\Delta_i$  – похибка окремого вимірювання.

3. Формула для обчислення варіації:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(V_{mi} - V_m)^2}{n-1}, \quad (3)$$

де  $S^2$  – дисперсія;  $V_{mi}$  – окреме виміряне значення;  $V_m$  – середнє значення вимірювань;  $n$  – кількість вимірювань.

Для покращення точності та відтворюваності вимірювань субмікронних мікрометрів можна застосовувати кілька підходів. Перш за все, впровадження автоматизованих систем калібрування значно зменшує вплив людського фактора на результати вимірювань. Такі системи можуть проводити калібрування в автоматичному режимі, забезпечуючи високу точність та стабільність результатів.

Використання сучасних матеріалів для виготовлення калібрувальних блоків також є важливим аспектом. Матеріали з мінімальними температурними коефіцієнтами розширення забезпечують стабільність розмірів блоків при зміні температури, що підвищує точність калібрування.

Оптимізація умов калібрування, зокрема підвищення стабільності температури та зменшення впливу вологості, дозволяє досягти більш точних результатів. Сучасні системи клімат-контролю та осушувачі повітря допомагають підтримувати оптимальні умови в лабораторії, що позитивно впливає на точність вимірювань.

Застосування антивібраційних столів та вакуумних камер для калібрування приладів допомагає мінімізувати вплив механічних впли-

вів та повітряних потоків на результати вимірювань. Такі підходи забезпечують високу точність та стабільність результатів, що є критично важливим для метрологічної практики.

Після завершення процесу калібрування результати повинні бути задокументовані відповідно до встановлених стандартів. Документування результатів включає оформлення сертифікату калібрування, який підтверджує точність та відповідність мікрометра вимогам стандартів. Сертифікат калібрування є важливим документом, що засвідчує точність вимірювального приладу та його відповідність вимогам метрологічних стандартів.

Калібрування субмікронних мікрометрів є складним та важливим процесом, що забезпечує точність вимірювань у різних галузях.

### **Література**

1. Закон України № 1314-VII від 5 червня 2014 року «Про метрологію та метрологічну діяльність».
2. <https://www.vitalsource.com/products/the-fourth-industrial-revolution-klaus-schwab-v9781524758875>
3. Бромберг, Э.М. Тестовые методы повышения точности измерений / Э.М. Бромберг, К.Л. Куликовский. – М. : Энергия, 1978. –176 с.
4. Shi, D. An adaptive method for detection and correction of errors in PMU measurements / D. Shi, D. J. Tylavsky, N. Logic // IEEE Transact. on Smart Grid. – 2012. – 3(4). – P. 1575–1583.

*Тимофєєв С.С., Роценко О.В., Рукавішников П.В.,  
Козловська І.П. Український державний університет  
залізничного транспорту, Харків, Україна*

## **ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ СУЧАСНИМИ КОМП'ЮТЕРНИМИ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ**

На сьогоднішній день постає питання підвищення точності вимірів при калібруванні, експлуатації та ремонті вимірювальних інструментів. Так як сучасне виробництво прагне до виготовлення більш якісної, конкурентноспроможної продукції в умовах сучасної конкуренції зі зменшенням витрат власних ресурсів. Тому сучасне вироб-

# ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ

Матеріали 24-ї Міжнародної науково-технічної конференції,  
26–27 червня 2024 р., Київ

*Мови конференції: українська, англійська*

Комп'ютерна верстка  
Копейкіна М.Ю.

Підписано 25.06.2024  
Формат 60×84×1/16  
Умч. вид. арк. 12,0.

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