

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПАРАТОРІВ КІНЦЕВИХ МІР ДОВЖИНИ

В.А. Калініченко¹, Ю.М. Карелін²

¹ ДП «Харківстандартметрологія», вул. Мироносицька, 36, м. Харків, 61002, Україна, 030@mtl.kharkov.ua

² ДП «Харківстандартметрологія», вул. Мироносицька, 36, м. Харків, 61002, Україна, 340@mtl.kharkov.ua

Анотація

Основну частину виробничих вимірювань складають лінійно-кутові вимірювання – в машинобудуванні їх доля сягає 90-95%. Базою для забезпечення єдності вимірювань лінійних розмірів є плоскопаралельні кінцеві міри довжини (КМД). Такі міри являють собою металеві бруски із двома строго паралельними площинами та визначеним розміром між ними. Вчасне та точне калібрування КМД забезпечує високу точність вимірювань на виробництвах.

На цей час на виробництвах для калібрування КМД широко використовуються компаратори КМД різноманітних типів та конструкцій, а саме: контактні інтерферометри, оптикатори, оптиметри, ультраоптиметри, оптичні довжиноміри, інші ручні та автоматизовані прилади.

Більшість з цих приладів передбачають використання одноточкової схеми вимірювання (один рухомий щуп), що не забезпечує необхідної довгострокової стабільності результатів калібрування через механічний знос нижньої опорної точки та деформацію КМД. Для визначення основних метрологічних характеристик КМД, номенклатура яких регламентується міжнародним стандартом, введеним в дію на території України як ДСТУ ISO 3650:2009 [1], необхідно використовувати двоточкову схему (диференційний метод вимірювань із двома рухомими щупами), яка також рекомендована цим стандартом. За цією схемою функціонують калібратори КМД зарубіжного виробництва, а саме: Feinmess EMP II, Mahr Precimat 826, Tesa UPC, Tesa UPD та інші.

Після аналізу номенклатури наявних на сучасному ринку компараторів КМД було прийнято рішення щодо використання для калібрування КМД компаратору Feinmess EMP II. Результати його експлуатації протягом року дозволили провести порівняльний аналіз функціональних характеристик сучасних компараторів КМД та їх метрологічних характеристик у частині стабільності та повторюваності результатів калібрування.

Ключові слова: метрологічні характеристики; калібрування; кінцеві міри довжини.

Вступ

Кінцеві міри довжини плоскопаралельні (КМД) призначені для використання у якості:

– робочих мір для регулювання та налаштування показуючих вимірювальних приладів і для безпосереднього вимірювання лінійних розмірів промислових виробів;

– мір, що мають статус еталонних для передачі розміру одиниці довжини під час перевірки/калібрування вимірювальних приладів.

Таким чином, КМД є основою у галузі вимірювань лінійних розмірів у промисловості, а їх перевірка/калібрування, у свою чергу, є вкрай необхідними для забезпечення єдності цих вимірювань.

Раніше КМД випускалися промисловістю згідно до вимог, встановлених у державному стандарті ДСТУ ГОСТ 9038-2009 [2], а методи та засоби перевірки/калібрування КМД встановлювалися державним стандартом ДСТУ ГОСТ 8.367:2009 [3].

Однак, у той самий час на території України функціонував і державний стандарт [1], який був введений в дію наказом Держспоживстандарту України від 30.12.2009 р. № 489, набув чинності 1 січня 2012 р. та встановлював загальні вимоги, як до характеристик самих КМД, так і до процесів їх перевірки/калібрування. Згодом цей документ повністю замінив [2] та посилив вимоги [3] щодо обладнання, яке використовується під час перевірки/калібрування.

У загальному випадку, під час перевірки/калібрування КМД використовується метод

компарування із зразковою мірою (мірами). У відповідності до [3] для перевірки/калібрування КМД використовуються інтерферометри Кестерса, подвійні контактні, горизонтальні, відносні або контактні інтерферометри типу ИКПВ та кінцеві вимірювальні машини довжини. Приклад контактної вертикального інтерферометру наведений на рис. 1.



Рис. 1. Інтерферометр контактний вертикальний типу ИКПВ

Загальним недоліком наведеного обладнання є вимірювальна схема з використанням тільки одного рухомого щупа-вимірювача, що призводить до нерівномірного нахилу мір відносно нижнього нерухомого наконечника, що повинен виступати над опорною поверхнею, на якій базується міра, на 2...3 мкм, також це призводить до значної деформації міри під час калібрування. Також суттєвими недоліками цього обладнання є відсутність термокомпенсації під час калібрування та ручна обробка вимірювальної інформації, відсутність точного позиціонування міри в заданих точках для визначення геометрії. У той же час, згідно з вимогами [1] для виконання перевірки/ калібрування дозволяється використовувати лише прилади-компаратори із двоточною схемою вимірювання (двома вимірювачами довжини, встановленими на протилежних сторонах КМД) з автоматизованим вимірюванням температури міри з метою введення відповідних поправок. Тому виникає необхідність переходу на більш сучасні вимірювальні прилади для використання під час перевірки/ калібрування КМД. Загальний принцип вимірювання компаратору із двоточною схемою вимірювання зображено на рис. 2.

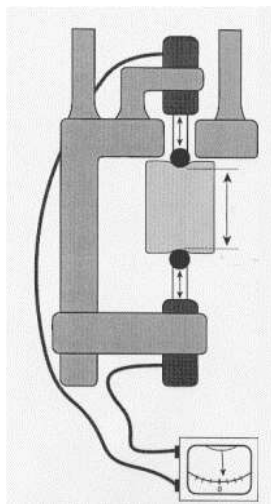


Рис. 2. Принцип вимірювання за двоточною схемою

Порівняння компараторів КМД

На цей час на ринку існує досить значна кількість сучасних компараторів КМД. До таких можна віднести наступні прилади: Feinmess EMP II, Mahr Precimar 826, Tesa UPC, Tesa UPD. Зовнішній вигляд деяких із цих приладів наведений на рис. 3-5, а результати порівняння основних характеристик –

у табл. 1. Також у табл. 1 наведені характеристики інтерферометру ІКПВ.



Рис. 3. Компаратор Tesa серії UPD



Рис. 4. Компаратор Mahr Precimar 826



Рис. 5. Компаратор Feinmess EMP II

Таблиця 1

Порівняльні характеристики компараторів КМД

Параметр	Тип вимірювального приладу				
	Feinmess EMP II	Mahr Precimar 826	Tesa UPC	Tesa UPD	ІКПВ
1	2	3	4	5	6
Метод вимірювань	Відносний	Відносний	Відносний	Абсолютний, відносний	Відносний

1	2	3	4	5	6
Інтервал переміщення щупа, мм	0-0,3	0-0,3	0-0,3	0-25	0,003/0,006
Діапазон вимірювань, мм	0,5-100	0,5-170	0,5-100	0,5-100	0,1-100
Збіжність, мкм	±0,015	±0,01	±0,025	±0,04	±0,03
Невизначеність вимірювань, мкм (L в мм)	±(0,03 + 2×L/1000)	±(0,05 + 0,5×L/1000)	±(0,1 + L/1000)	±(0,07 + L/1000)	±0,04 / ±0,06
Дискретність відліку, мкм	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05/0,1
Вимірювальне зусилля, Н	1,0 ± 0,5	0,6-1,0	0,63-1,0	0,63-1,0	0,75-2,75
Наявність шаблонного пристрою позиціонування міри	Є	Є	Є	Є	Немає
Автоматичний розрахунок параметрів міри	Є	Є	Є	Є	Немає

Для виконання робіт з повірки/ калібрування КМД у ДП «Харківстандартметрологія» є в наявності компаратор Feinmess EMP II, тому саме результати визначення його метрологічних характеристик стали основою для порівняльного аналізу.

Контрольовані параметри КМД

Згідно з [1] контрольованими параметрами КМД є:

- притираємість;
- відхилення від площинності;
- центральна довжина;
- відхилення довжини від номінальної;
- відхилення від плоскопаралельності.

Визначення всіх параметрів, окрім першого, передбачають встановлення КМД на компаратор, зняття результатів вимірювань та їх математичну обробку. Для визначення вказаних параметрів виконуються вимірювання довжини міри у п'яти точках її поверхні та розраховуються параметри, вказані на рис. 6.

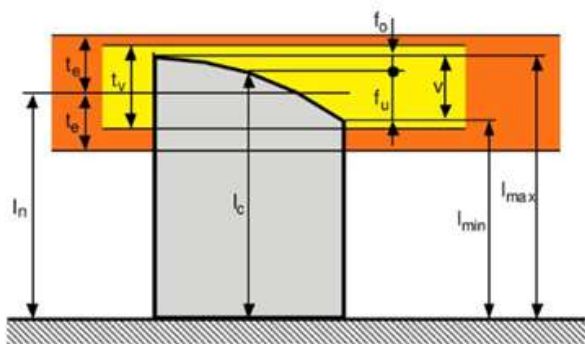


Рис. 6. Параметри КМД

На рис. 6 використовуються наступні позначення:

l_n – номінальна довжина,
 l_c – центральна довжина,
 l_{min} – мінімальна довжина,
 l_{max} – максимальна довжина,
 $v = l_{max} - l_{min}$ – варіація довжин,
 $f_o = l_{max} - l_c$ – верхня варіація,
 $f_u = l_c - l_{min}$ – нижня варіація,
 t_e – граничне відхилення в будь-якій точці від номінальної довжини,
 t_v – допуск варіації.

Для підвищення продуктивності виконання повірки/ калібрування сучасні компаратори КМД виконують автоматичний розрахунок усіх перелічених параметрів.

Визначення метрологічних характеристик

Аналіз метрологічних характеристик компаратору Feinmess EMP II виконувався за методикою, встановленою в нормативному документі EURAMET cg-2 [4] (раніше EA-10/02).

Для виконання вимірювань були складені пари КМД із номінальними розмірами, вказаними в табл. 2.

Таблиця 2

№ пари	Пари КМД	
	Номінальна довжина міри, мм	
	А	Б
1	1,0	1,0
2	1,0	1,01
3	1,0	1,005
4	10,0	10,0
5	100,0	100,0

Вимірювання виконувалися у п'яти точках міри за схемою, наведеною на рис. 7.

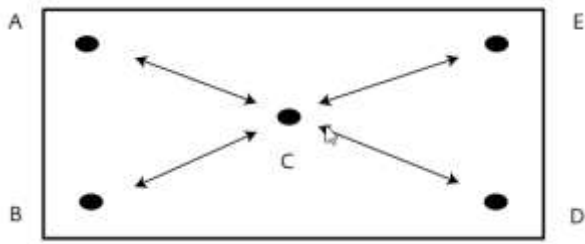


Рис. 7. Схема вимірювань

Для порівняння центральної довжини КМД парами були встановлені у обидва вимірювальні

ложементи компаратору (для еталонної КМД та КМД, що калібрується), виконано п'ять вимірювань центральної довжини. Після цього КМД мінялися місцями та серії вимірювань були повторені. У цілому було отримано десять результатів вимірювань, для кожної з яких було розраховані середні значення та СКВ.

Результати порівнянь центральної довжини КМД наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Результати порівнянь центральної довжини КМД

Номинальна довжина КМД, мм	Дійсна довжина КМД, мм	Різниця дійсних довжин, мкм	Середнє виміряне значення, мкм	СКВ, мкм	Похибка, мкм
1,0	1,00002	5,12	5,11	0,012	-0,01
1,005	1,00514				
1,0	1,00002	10,01	10,02	0,014	0,01
1,01	1,01003				
10,0	9,99996	0,03	0,04	0,011	0,01
10,0	9,99999				
50,0	49,99998	0,14	0,15	0,013	0,01
50,0	49,99984				
100,0	100,00002	0,0	0,01	0,012	0,01
100,0	100,00002				

Для вимірювання плоскопаралельності КМД довжиною 1,01 мм була встановлена у ложемент для КМД, що калібрується, та для неї було виконано чотири серії із п'яти вимірювань у всіх точках поверхні КМД, окрім центральної. Після цього міра поверталася дзеркально у горизонтальній площині та

виконувалося чотири послідовних вимірювальних серій.

Для кожної із восьми серій були розраховані середні значення та СКВ. Результати вимірювань наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Результати вимірювань плоскопаралельності

Точка	Середнє значення, мкм	Виміряне значення плоскопаралельності, мкм	Дійсне значення плоскопаралельності, мкм	Похибка, мкм	СКВ, мкм	Виміряне значення плоскопаралельності, мкм	Дійсне значення плоскопаралельності, мкм	Похибка, мкм	СКВ, мкм	
										Положення КМД 0°
С	-0,01	0,02	0,04	-0,02	0,012	0,06	0,04	0,02	0,011	
А					0,014				0,012	
С	0,011								0,010	
В									0,014	0,013
С										0,014
Е	-0,03									

Аналіз результатів

Достовірність результатів визначення метрологічних характеристик компараторів КМД, у першу чергу, залежить від характеристик КМД, використаних при калібруванні. У [4] встановлюються критерії придатності компараторів для використання.

Досліджуваний компаратор використовувався для калібрування КМД із розширеною невизначеністю $U \leq (0,05 + 0,5 \times L)$ мкм, при $k = 2$, $P = 0,95$ (КМД 2-го розряду). Для цього випадку у якості критеріїв приймання компаратору

використовуються наступні метрологічні характеристики:

- СКВ не повинні перевищувати 0,015 мкм;
- максимальні відхилення центральних довжин та найбільших відхилень від плоскопаралельності не повинні перевищувати 0,03 мкм.

Виконані дослідження компаратору Feinmess EMP II показали, що компаратор за своїми метрологічними характеристиками відповідає вимогам до компараторів, які можуть використовуватися для повірки/калібрування КМД 2-го розряду й класів точності 1 та 2 згідно [1].

Abstract

The main part of production measurements are linear-angular measurements - in mechanical engineering their share reaches 90-95%. The basis for ensuring the uniformity of measurements of linear dimensions is plane-parallel gauge blocks (KMD). Such measures are metal bars with two strictly parallel planes and a certain size between them. Timely and accurate KMD calibration ensures high measurement accuracy in production.

Now in factories for the calibration of KMD, KMD comparators of various types and de-signs are widely used, namely: contact interferometers, opticators, optimometers, ultraoptimeters, optical length meters, and other manual and automated instruments.

Most of these instruments provide for the use of a single-point measurement scheme (one movable stylus), which does not provide the necessary long-term stability of the calibration results due to mechanical wear of the lower reference point, and does not take into account the deformation of the test gauge. To determine the main metrological characteristics of KMD, the nomenclature of which is regulated by international standard, introduced in Ukraine as DSTU ISO 3650: 2009, it is necessary to use a two-point scheme (differential measurement method with two moving probes), which is also recommended by this standard. According to this scheme, KMD calibrators of foreign production operate, namely: Feinmess EMP II, Mahr Precimar 826, Tesa UPC, Tesa UPD and others.

After analyzing the range of KMD comparators available on the modern market, it was de-cided to use the Feinmess EMP II comparator to calibrate the KMD. The results of its operation during the one year made it possible to carry out a comparative analysis of the functional character-istics of modern KMD comparators and their metrological characteristics in terms of the stability and repeatability of the calibration results.

Key words: metrological characteristics; calibration; gauge blocks.

Аннотация

Основную часть производственных измерений составляют линейно-угловые измерения – в машиностроении составляют 90-95%. Базой для обеспечения единства измерений линейных размеров являются плоскопараллельные концевые меры длины (КМД). Такие меры представляют собой металлические бруски с двумя строго параллельными плоскостями и определенным размером между ними. Своевременная и точная калибровка КМД обеспечивает высокую точность измерений на производствах.

В настоящее время на производствах для калибровки КМД широко используются компараторы КМД разных типов и конструкций, а именно: контактные интерферометры, оптикаторы, оптиметры, ультраоптиметры, оптические длинномеры, другие ручные и автоматизированы приборы.

Большинство из этих приборов предполагают использование одноточечной схемы измерения (один подвижный щуп), что не обеспечивает необходимой долгосрочной стабильности результатов калибровки из-за механического износа нижней опорной точки и деформации КМД. Для определения основных метрологических характеристик КМД, номенклатура которых регламентируется международным стандартом, введенным в действие на территории Украины как DSTU ISO 3650:2009 [1], необходимо использовать двухточечную схему (дифференциальный метод измерений с двумя подвижными щупами), которая также рекомендована этим стандартом. По этой схеме функционируют калибраторы КМД зарубежного производства, а именно: Feinmess EMP II, Mahr Precimar 826, Tesa UPC, Tesa UPD и прочие.

После анализа номенклатуры имеющихся на современном рынке компараторов КМД были приняты решения относительно использования для калибровки КМД компаратора Feinmess EMP II. Результаты его эксплуатации в течение года позволили провести сравнительный анализ функциональных характеристик современных компараторов КМД и их метрологических характеристик в части стабильности и повторяемости результатов калибровки.

Ключевые слова: метрологические характеристики, калибровка, концевые меры длины.

Список літератури

1. ДСТУ ISO 3650:2009 Вимоги до геометричних розмірів виробів. Еталони довжини. Кінцеві міри (ISO 3650:1998, IDT). Київ, Держстандарт України, 2009, 16 с.
2. ДСТУ ГОСТ 9038-2009 Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. Київ, Держстандарт України, 2009, 21 с.
3. ДСТУ ГОСТ 8.367:2009 ГСИ. Меры длины концевые плоскопараллельные образцовые 1-го и 2-го разрядов и рабочие классов точности 00 и 0 длиной до 1000 мм. Методы и средства поверки. Київ, Держстандарт України, 2009, 66 с.
 4. EURAMET cg-2 Калібрування компараторів кінцевих мір довжини. Брауншвейг, Німеччина. EURAMET e.V., 2011, 5 с.

References

1. State Standard ISO 3650:2009 Geometrical Product Specifications (GPS). Length standards. Gauge blocks (ISO 3650:1998, IDT). Kyiv, Derzhstandart Ukrainy, 2009, 16 p. (in Ukrainian)
2. State Standard GOST 9038-2009 Gauge blocks. Specifications. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy, 2009, 21 p. (in Ukrainian)
3. State Standard GOST 8.367:2009 State system for ensuring the uniformity of measurements. Reference gauge-blocks of the 1st and the 2nd accuracy orders and working gauge-blocks of 00 and 0 accuracy classes up to 1000 mm. Methods and means for verification. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy, 2009, 66 p. (in Ukrainian)
4. EURAMET cg-2 Calibration of gauge block comparators. Braunschweig, Germany. EURAMET e.V., 2011, 5 p. (in English)