

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-20-31](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-20-31)

УДК 621.0, 53.08

**Юрій Іванович Адаменко¹, Сергій Володимирович Майданюк²,
Олександр Анатолійович Плівак³, Сергій Вікторович Лапковський⁴**

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: yuriy.adamenko@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4232-3206>. Researcher ID: ACT-0127-2022

²кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: maysv3@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2853-8606>. Researcher ID: J-7542-2017

³завідувач науково-дослідної (експериментальної) лабораторії вимірювальної техніки
навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту, асистент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: aplivak@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3680-8485>.

⁴кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: Lapkovsky@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231>. Researcher ID: HCH-3837-2022

ПЕРЕВІРКА ТОЧНОСТІ ІНДИКАЦІЇ ШТАНГЕНЦИРКУЛІВ

У сучасному машинобудуванні великий обсяг вимірювань під час виготовлення деталей машин виконується за допомогою штангенциркулів. Важливою є впевненість у тому, що прилади відповідають встановленим вимогам точності, оскільки від цього залежить якість продукту. Тому в умовах машинобудівних підприємств необхідно періодично виконувати перевірку точності індикації штангенциркулів за встановленими процедурами. Проте в чинній нормативній літературі методики наведені в загальному вигляді, і частину питань, пов'язаних із перевіркою точності, оператору доводиться вирішувати самостійно. У статті виконано теоретичний аналіз нормативних документів та проведено експериментальні дослідження, які дозволили розробити практичні рекомендації щодо процедури перевірки точності індикації штангенциркулів, зокрема вибору контрольних точок, кількості повторних вимірювань, ухвалення рішення про відповідність чи невідповідність приладу специфікації.

Ключові слова: штангенциркуль; перевірка точності; метрологічні характеристики; похибки індикації.

Рис.: 7. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів, глибин, уступів у машинобудуванні та багатьох інших галузях промисловості широко використовують штангенциркулі. Штангенциркулі відзначаються простотою конструкції та зручністю використання, тому вони є поширеними приладами для контролю розмірів під час виготовлення деталей та складання виробів. Широкий вибір доступних моделей зі спеціалізованими вимірювальними поверхнями робить їх універсальними ручними інструментами. Кожен засіб вимірювальної техніки, який використовується у виробництві, має відповідати встановленим вимогам точності, адже контроль якості є важливою складовою управління виробництвом.

Постановка проблеми. Щоб бути впевненим у правильності результату вимірювань за показами приладу, необхідно підтримувати його в робочому стані, акуратно виконувати вимірювання та періодично проводити калібрування. Повірку та калібрування складних приладів здійснюють відповідні профільні метрологічні лабораторії та сервісні центри виробників. Водночас на промислових підприємствах, де експлуатують засоби вимірювання, періодично виконують перевірку їхніх метрологічних характеристик для встановлення їх відповідності специфікації на прилад. Проміжні перевірки, необхідні для підтримання впевненості у працездатності обладнання, потрібно проводити відповідно до встановленої процедури.

В Україні довгий час діяли два стандарти, які регулювали питання конструювання, виготовлення, експлуатації та повірки штангенциркулів, а саме: «ДСТУ ГОСТ 166:2009 Штангенциркули. Технические условия» [1] та «ДСТУ ГОСТ 8.113:2009 ГСИ. Штангенциркули. Методика поверки» [2]. Проте стандарт [1] втратив чинність з 01.01.2019 року, а стандарт [2] з 01.01.2022 року.

Натомість з 01.01.2019 року набрав чинності міжнародний стандарт «ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики» [3]. У 2022 році в Україні було введено в дію ще два міжнародних стандарти: «ДСТУ EN ISO 14978:2022 Геометричні специфікації виробу (GPS). Загальні концепції та вимоги до вимірювального обладнання GPS» [4] та «ДСТУ EN ISO 13385-1:2022 Геометричні специфікації виробу (GPS). Обладнання для вимірювання розмірів. Частина 1. Конструкція та метрологічні характеристики штангенциркулів» [5].

Стандарт [4] формулює терміни та визначення характеристик вимірювального обладнання GPS, зокрема, штангенциркулів, мікрометрів, вимірювальних головок, встановлює загальні вимоги до їхніх конструктивних елементів та калібрування, а також дає рекомендації щодо розробки та змісту стандартів для вимірювального обладнання GPS. Використання стандарту дає можливість уникнути багаторазових повторів у стандартах ISO для конкретного вимірювального обладнання GPS. Цей стандарт застосовують у компаніях як інструмент для правильного вибору вимірювального обладнання та його характеристик, що економить час і спрощує комунікацію між виробником та замовником.

Зараз в Україні одночасно діють стандарти, прийняті на базі ISO 13385-1:2011 та ISO 13385-1:2018, які суттєво відрізняються від стандартів ДСТУ ГОСТ [1; 2], а також відрізняються один від одного в питаннях, що стосуються перевірки метрологічних характеристик штангенциркулів. Крім того, обидва вказані стандарти прийняті мовою оригіналу, тобто англійською, і українською мовою не перекладені, що не виключає персональних інтерпретацій спеціалістів.

Таким чином, машинобудівні підприємства країни потребують наявності чітких і зрозумілих процедур оцінки точності приладів, що знаходяться в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними причинами виникнення похибок під час вимірювання штангенциркулями є наявність похибки Аббе через те, що лінія вимірювання не збігається з лінією шкали та похибки встановлення вимірювальних поверхонь приладу відносно поверхонь деталі, а для ноніусних штангенциркулів, ще й похибка налаштування нульової точки та похибка зчитування через наявність паралакса. Крім того, для штангенциркулів, що експлуатуються, причинами виникнення похибок є можливі механічні пошкодження та зношення робочих поверхонь губок [6].

Під час встановлення метрологічних характеристик штангенциркулів, згідно [3; 5], визначають окремо похибку часткового контакту поверхні та похибку зсуву шкали. Похибка часткового контакту виявляється під час вимірювання кінцевих мір губками для вимірювання зовнішніх поверхонь. Вимірювання призначені для виявлення комбінації похибок штангенциркуля, включаючи похибки шкали, вплив прикладеної вимірювальної сили, зазор між штангою і рамкою, геометричні похибки штанги та вплив паралельності і площинності зовнішніх вимірювальних поверхонь. Похибку часткового контакту поверхні встановлюють шляхом вимірювання розмірів у кількох контрольних точках, розташованих по всьому діапазону основної шкали, а для ноніусних штангенциркулів, також, і по всьому діапазону шкали ноніуса.

Вимірювання починають з встановлення нульової точки. Для цього вимірювальні поверхні губок для зовнішніх вимірювань приводять в контакт, і в цьому положенні фіксують нульову точку. Нульова точка вважається зафіксованою і не змінюється протягом усього процесу оцінки метрологічних характеристик штангенциркуля.

Під час вимірювання похибки часткового контакту поверхні контрольні точки можна вибирати довільно. Згідно з рекомендаціями стандарту [5] контрольні точки повинні бути розподілені якомога рівномірніше в межах діапазону вимірювання штангенциркуля. При цьому принаймні одна контрольна точка повинна бути на 90 % або більше від діапазону вимірювання. Варто зазначити, що в різних чинних нормативних документах, які широко застосовуються у світовій індустрії, рекомендації щодо вибору кількості контрольних точок дещо відрізняються. Мінімальну кількість контрольних точок за стандартами [5; 7] наведено в табл. 1. Нульова точка не зараховується до мінімальної кількості контрольних точок, наведених у табл. 1.

Таблиця 1 – Кількість контрольних точок для визначення похибки часткового контакту поверхні

Діапазон вимірювання штангенциркуля менший або дорівнює, мм	Мінімальна кількість контрольних точок за ISO 13385-1:2019 [5]	Мінімальна кількість контрольних точок за ASME B89.1.14-2018 [7]
150	5	3
300	6	4
1000	7	5
Понад 1000	8	–

Джерело: складено авторами.

Компанія esz AG, ФРН [8] під час калібрування штангенциркулів використовує контрольні точки, наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Точки для калібрування штангенциркуля [8]

Діапазон вимірювання менший або дорівнює, мм	Кількість точок	Розмір, мм
150	3	0 / 41,3 / 131,4
200	4	0 / 41,3 / 131,4 / 291,4
300	4	0 / 41,3 / 131,4 / 291,4
400	5	0 / 41,3 / 131,4 / 291,4 / 381,4
500	6	0 / 41,3 / 131,4 / 291,4 / 381,4 / 461,4

Джерело: складено авторами.

Причому міри 41,3 і 131,4 мм є спеціальними, а більші розміри отримують набором мір:

291,4 мм: 100 мм+131,4 мм+60 мм;

381,4 мм: 100 мм+131,4 мм+60 мм+90 мм;

461,4 мм: 100 мм+131,4 мм+60 мм+90 мм+80 мм.

У роботі [6] для вимірювання похибки часткового контакту поверхні запропоновано вибирати від 5 до 10 контрольних точок для покриття діапазону вимірювання приладу, розподілених приблизно на однаковій відстані одна від одної. Кількість точок калібрування залежить від ціни поділки шкали чи дискретності цифрового приладу. Так, для штангенциркуля з ціною поділок 0,01 мм і 0,02 мм рекомендується вибрати 10 точок калібрування, а для поділок шкали 0,05 мм і 0,1 мм може бути від 5 до 10 точок. При цьому мають бути точки, які відповідають мінімуму шкали та максимуму шкали або значення, близьке до максимуму. Наприклад, для калібрування цифрового штангенциркуля 150 мм і роздільною здатністю 0,01 мм було обрано такі контрольні точки: 0 мм, 10 мм, 30 мм, 50 мм, 70 мм, 90 мм, 110 мм, 130 мм і 150 мм.

Для визначення похибки зсуву шкали кожний з типів вимірювань (вимірювання отворів, глибини, висоти уступу тощо) має бути перевірений як мінімум з однією контрольною точкою [5]. У роботі [6] за замовчуванням рекомендовано брати дві контрольних точки.

Таким чином, питання вибору кількості контрольних точок не є однозначним і потребує від оператора прийняття самостійного рішення з урахуванням особливостей вимірювання.

Стандарти [3], [5], [7] не регламентують кількість повторних вимірювань у контрольних точках під час проведення оцінки точності штангенциркуля. У роботі [6] рекомендовано в кожній точці калібрування при вимірюванні зовнішніми губками виконувати по два повторних вимірювання, а потім випадково вибрати дві точки та провести в них по десять повторних вимірювань для визначення повторюваності. Причому під час проведення повторних вимірювань положення блока мір слід змінювати вздовж контактної поверхні губок, щоб оцінити, наявність зазору між рухомою рамкою і штангою штангенциркуля.

Під час вимірювання похибки зсуву шкали штангенциркуля для при вимірюванні внутрішніх поверхонь у двох точках калібрування в межах діапазону вимірювання рекомендовано виконувати по два або три повторних вимірювання.

Для встановлення відповідності або невідповідності специфікаціям слід дотримуватись правила прийняття рішення, що додається до специфікації на прилад. Якщо у специфікації правило прийняття рішення не вказане, то, за замовчуванням, виміряні значення порівнюються з гранично допустимими похибками E_{MPE} (для часткової похибки контакту поверхні) чи S_{MPE} (для похибки зсуву шкали) [5].

Значення гранично допустимої похибки MPE (Maximum Permissible Error) для штангенциркулів з довжиною вимірювання до 500 мм наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Значення MPE для штангенциркулів [5]

Довжина вимірювання, l , мм	Ціна поділки аналогової шкали чи дискретності цифрового пристрою					
	0,01 мм		0,02 мм		0,05 мм	
	E_{MPE} , мкм	S_{MPE} , мкм	E_{MPE} , мкм	S_{MPE} , мкм	E_{MPE} , мкм	S_{MPE} , мкм
$0 < l \leq 50$	± 20	± 30	± 20	± 40	± 50	± 50
$50 < l \leq 100$	± 30	± 50	± 40	± 60	± 50	± 100
$100 < l \leq 200$	± 30	± 50	± 40	± 60	± 100	± 100
$200 < l \leq 300$	± 40	± 60	± 40	± 60	± 100	± 100
$300 < l \leq 400$	± 40	± 60	± 40	± 60	± 100	± 100
$400 < l \leq 500$	± 50	± 70	± 60	± 80	± 100	± 100

Джерело: складено авторами.

Згідно з [5] значення гранично допустимих похибок MPE не можуть бути меншими за крок дискретності цифрового відлікового пристрою або ціни поділки шкали на круговій шкалі або шкалі ноніуса. Значення MPE є функцією виміряної довжини, а не діапазону вимірювання штангенциркуля.

Для значень MPE, наведених у табл. 3, за правило прийняття рішення щодо встановлення відповідності чи невідповідності прийняте просте прийняття та відхилення. При цьому індекс вимірювальної спроможності St повинен дорівнювати чотирьом, тобто невизначеність вимірювання не повинна перевищувати четверту частину допуску.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Стандарти [3; 5] дають загальні рекомендації щодо змісту та етапів виконання вимірювань і оцінки їхніх результатів, проте частину питань спеціалісту, що проводить перевірку індикації приладу, доводиться вирішувати самостійно. Отже, очевидно, є потреба в уточненні методик, що виникли у зв'язку з переходом на нові стандарти ISO, зокрема щодо вибору контрольних точок, кількості вимірювань у контрольних точках та прийняття рішення про встановлення відповідності специфікації.

Метою статті є розробка рекомендацій для уточнення методики перевірки індикації штангенциркулів, зокрема, вибір контрольних точок, кількості вимірювань у контрольних точках, прийняття рішення щодо встановлення відповідності специфікації. Це спростить процедуру виконання вимірювань та дозволить прийняти обґрунтовані рішення під

час перевірки точності штангенциркулів. Проведення перевірки надає впевненості, що прилади відповідають встановленим вимогам точності, та забезпечують необхідну якість вимірювання деталей машин.

Виклад основного матеріалу. Для розробки рекомендацій щодо уточнення методики перевірки індикації штангенциркулів був виконаний теоретичний аналіз нормативних документів, що використовуються в машинобудуванні та інших галузях промисловості, проведені експериментальні дослідження точності індикації штангенциркуля та виконана обробка отриманих результатів, що дозволило сформулювати відповідні висновки.

На основі рекомендацій, наведених в роботах [3; 5; 7], а також враховуючи досвід метрологічних лабораторій [7; 8; 10], було розроблено рекомендації для вибору контрольних точок для штангенциркулів з цифровою індикацією (табл. 4).

Таблиця 4 – Вибір розмірів контрольних точок цифрових штангенциркулів
розміри в міліметрах

Діапазон вимірювання	Номер контрольної точки						
	0	1	2	3	4	5	6
125	0	25	50	75	100	125	
150	0	30	60	90	120	150	
200	0	30	60	90	120	150	200
250	0	40	80	120	150	200	250
300	0	50	100	150	200	250	300

Джерело: складено авторами.

При складанні табл. 4 було прийнято, що нульова точка дорівнює мінімальному значенню діапазону вимірювання, тобто нулю. Остання точка відповідає максимуму діапазону вимірювання штангенциркуля. Кількість контрольних точок відповідає рекомендаціям [5], точки розподілені рівномірно по всьому діапазону вимірювання. Частину отриманих значень було округлено до цілих чисел, для зручності під час складання блоку мір. Для штангенциркулів з ноніусним відліковим пристроєм необхідно рівномірно встановити дробову частину розміру в межах діапазону його вимірювання. Наприклад, розміри можна утворити шляхом додавання до розмірів № 1-4 (табл. 4) мір з розмірами 1,3 мм; 1,8 мм; 1,4 мм; 1,6 мм відповідно (табл. 5).

Таблиця 5 – Вибір розмірів контрольних точок ноніусних штангенциркулів
розміри в міліметрах

Діапазон вимірювання	Номер контрольної точки						
	0	1	2	3	4	5	6
125	0	26,3	51,8	76,4	101,6	125	
150	0	31,3	61,8	91,4	121,6	150	
200	0	31,3	61,8	91,4	121,6	150	200
250	0	41,3	81,8	121,4	151,6	200	250
300	0	51,3	101,8	151,4	201,6	250	300

Джерело: складено авторами.

Для експериментальної перевірки точності індикації було вибрано цифровий штангенциркуль з діапазоном вимірювання 0-150 мм і дискретністю цифрового відлікового пристрою 0,01 мм. Перед виконанням експерименту вимірювальні поверхні штангенциркуля було очищено від забруднень і перевірено на наявність пошкоджень та надмірного зношення. Вимірювальні поверхні були знежирені папером без ворсу, змоченим в уайт-спіриті. Рамка по штанзі переміщувалась вільно, і при цьому не зміщувалась під дією власної ваги у вертикальному положенні штанги.

Експерименти виконувались досвідченим оператором, який має достатні навички роботи зі штангенциркулем. Особлива увага приділялась тому, щоб кожне вимірювання виконувалось із прикладанням мінімальної постійної сили. Необхідне положення вимірювальних поверхонь штангенциркуля відносно поверхонь мір ретельно встановлювалось, уникаючи зазорів та перекосів.

Температура в приміщенні вимірювалась цифровим термометром з дискретністю $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Під час проведення експерименту температура у приміщенні знаходилась у діапазоні $(20 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Штангенциркуль, кінцеві міри довжини та інше необхідне приладдя втримувалось в одному приміщенні протягом не менше однієї години для вирівнювання температури. Вимірювання здійснювалось з використанням термоізоляційних рукавичок.

На початку експерименту губки для вимірювання зовнішніх поверхонь були зведені до контакту і в цьому положенні встановлено нульову точку. В експерименті використовувався набір кінцевих мір довжини 3 класу точності за ДСТУ ГОСТ 9038.

Для вимірювання похибки часткового контакту поверхні $E_{\text{МРЕ}}$ цифрового штангенциркуля відповідно до табл. 4 були вибрані наступні контрольні точки, що лежать у межах діапазону вимірювання: 30 мм, 60 мм, 90 мм, 120 мм і 150 мм (рис. 1). У точках з розмірами 30 мм і 150 мм було виконано по три окремих вимірювання: одне поблизу штапни, друге в середній частині губок і третє поблизу кінчиків губок (рис. 2).

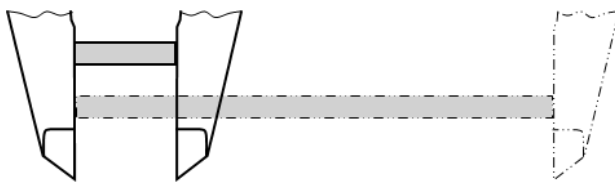


Рис. 1. Схема вимірювання в межах діапазону вимірювання шкали [5]

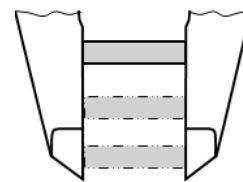


Рис. 2. Схема вимірювання по довжині губок [5]

Для визначення похибки лінійного контакту, яка є наслідком локального зношення чи відхилення від паралельності губок, була використана міра циліндричної форми діаметром 15 мм. Вимірювання виконувались в різних положеннях вздовж зовнішніх вимірювальних поверхонь перпендикулярно до площини губок (рис. 3).

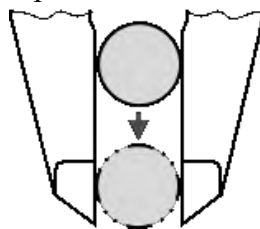


Рис. 3. Схема вимірювання лінійного контакту [5]

Похибка зсуву $S_{\text{МРЕ}}$ виникає через те, що налаштування на нуль здійснюється за губками для вимірювання зовнішніх поверхонь, а вимірювання розмірів здійснюється іншими вимірювальними поверхнями. Типові похибки зсуву шкали виникають під час використання внутрішніх вимірювальних поверхонь для вимірювання отворів, глибиноміра та поверхонь штангенциркуля для вимірювання ступінчастих поверхонь.

Для перевірки похибки зсуву для внутрішніх вимірювальних поверхонь була використана установна кільцева міра діаметром 50 мм (рис. 4). Під час вимірювання отворів малих діаметрів штангенциркулями з перехрещеними ножовими кромками може виникнути додаткова похибка зсуву. Величина похибки залежить від зазору між вимірювальними поверхнями губок та товщини граней ножа губок. Похибка зсуву через схрещені внутрішні вимірювальні поверхні ножа перевірялись шляхом вимірювання установчої кільцевої міри діаметром 5 мм (рис. 5).

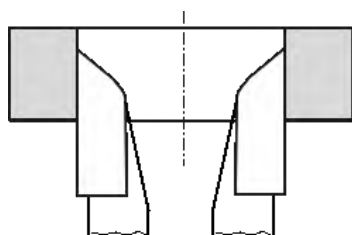


Рис. 4. Схема вимірювання отвору [5]

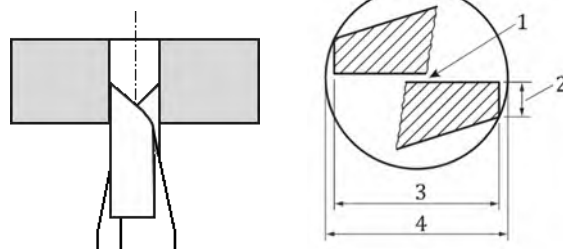


Рис. 5. Схема вимірювання отвору малого діаметра [5]:
1 – зазор між губками; 2 – товщина граней губок;
3 – виміряний розмір; 4 – розмір отвору

Для перевірки похибки зсуву шкали глибиноміра та поверхонь, призначених для вимірювання висоти уступу було використано плоскопаралельну кінцеву міру розміром 20 мм та плоску пластину, на яку встановлювалась міра (рис. 6, 7).

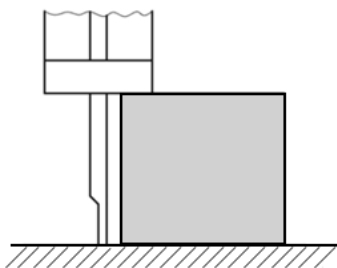


Рис. 6 – Схема вимірювання глибиноміром [5]



Рис. 7 – Схема вимірювання уступу [5]

Результати вимірювань вносились у табл. 6.

Таблиця 6 – Результати вимірювання

Перевірка	Розмір міри, мм	Виміряний розмір, l_i , мм	E_{MPE}/S_{MPE} , мм	l_{10} , мм	s_{10} , мм	MPE, $\pm$ мм	Відповідність так/ні
1	2	3	4	5	6	7	8
Зовнішні поверхні	30 ¹	30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00	0	30,000	0	0,02	так
	30 ²	30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00	0	30,000	0	0,02	так
	30 ³	30,01; 30,00; 30,00; 30,00; 30,01; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00; 30,00	+0,01	30,002	0,004	0,02	так
	60	60,00; 60,00; 60,01; 60,00; 60,00; 60,01; 60,00; 60,01; 60,00; 60,01	+0,01	60,004	0,005	0,03	Так
Зовнішні поверхні	90	90,00; 90,00; 90,00; 89,99; 90,00; 90,00; 90,00; 90,00; 90,00; 90,00	0	89,999	0,003	0,03	так
	120	119,99; 120,00; 120,00; 119,99; 120,00; 120,00; 120,00; 119,99; 120,00; 120,00	-0,01	119,997	0,005	0,03	так
	150 ¹	150,00; 150,01; 150,01; 150,00; 150,00; 150,01; 150,00; 150,00; 150,00; 150,00	+0,01	150,003	0,005	0,03	так
	150 ²	150,01; 150,01; 150,00; 150,00; 150,00; 150,00; 150,00; 150,01; 150,00; 150,00	+0,01	150,004	0,005	0,03	так
	150 ³	150,00; 150,01; 150,01; 150,01; 150,00; 150,00; 150,00; 150,00; 150,00; 150,00	+0,01	150,003	0,005	0,03	так

Закінчення табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8
Лінійний контакт	Ø15	15,01; 15,01; 15,00; 15,00; 15,00; 15,00; 15,00; 15,00; 15,00; 15,00	+0,01	15,002	0,004	0,06	так
Внутрішні поверхні	Ø50	50,01; 50,01; 50,02; 50,01; 50,01; 50,02; 50,01; 50,01; 50,02; 50,01	+0,02	50,013	0,005	0,03	так
	Ø5	4,98; 4,98; 4,99; 4,99; 4,99; 4,98; 4,98; 4,98; 4,99; 4,99	-0,02	4,985	0,005	0,03	так
Глибиномір	20	20,00; 19,99; 20,01; 20,01; 20,00; 20,01; 20,01; 20,00; 20,00; 20,01	-0,01 +0,01	20,004	0,007	0,03	так
Уступ	20	20,01; 20,02; 20,00; 20,01; 20,00; 20,01; 20,00; 20,01; 20,00; 20,00	+0,02	20,006	0,007	0,03	так

¹ – вимірювання поблизу штанги;

² – вимірювання посередині губок;

³ – вимірювання поблизу кінчиків губок;

E_{MPE} – похибка часткового контакту поверхні (по трьох точках);

S_{MPE} – похибка зсуву шкали (по трьох точках);

l_{10} – середнє арифметичне відхилення (по десяти точках);

s_{10} – середнє квадратичне відхилення (по десяти точках);

MPE – гранично допустима похибка.

Джерело: розроблено авторами.

Відповідно до [3] і [5] усереднення кількох показів або інша обробка даних під час визначення відповідності специфікаціям не допускається, відповідно розмір кожної вимірюваної величини має оцінюватись одним тестовим значенням. При цьому вплив повторюваності включено у випробування на часткову помилку контакту поверхні.

Проте у даній роботі досліджувався вплив кількості вимірювань у кожній контрольній точці. Відповідно у кожній точці було виконано по 10 вимірювань. Обробка результатів здійснювалась наступним чином. Часткова похибка контакту розрахована як алгебраїчна різниця між показами штангенциркуля та номінальним розміром кінцевої міри довжини чи блоку мір. Похибка лінійного контакту розраховувалась як діапазон значень, вимірюваних вздовж робочих поверхонь губок для зовнішніх вимірювань.

Серед трьох перших повторних вимірювань у кожній контрольній точці брали ту, яка має найбільше відхилення від номінального розміру міри. Відповідно визначали похибку часткового контакту поверхні E_{MPE} чи похибку зсуву S_{MPE} . Для порівняння додатково за результатами десяти вимірювань визначалось середнє арифметичне значення та величина, що характеризує розсіювання розмірів, а саме, середньоквадратичне відхилення. Як показує аналіз даних табл. 6, вимірювання десяти точок підтверджує повторюваність результатів вимірювання.

Для остаточного простого прийняття рішення щодо відповідності чи невідповідності в стандартах [3; 5] було висловлене застереження, що невизначеність вимірювання не має перевищувати чверті допуску. Тому розрахуємо невизначеність вимірювання для фактичних умов проведення експерименту. Визначимо джерела похибок, які варто включити для розрахунку невизначеності вимірювання. Скористаємось загальноприйнятою практикою розрахунку бюджету невизначеності, яка використовується для штангенциркулів [7].

1. Усі похибки приладу, зокрема зміщення Аббе, роздільна здатність, паралакс, пружні деформації повторюваність тощо, є частиною того, що перевіряється, а не включається в невизначеність.

2. Штангенциркуль є ручним вимірювальним приладом, тому оператор обов'язково має бути включений у вимірювальну систему. Оператор має достатні навички роботи зі штангенциркулем, а вимірювання ретельно підготовлені і виконані, тому будь-які похибки пов'язані з його діями, як фактор, що впливає на невизначеність вимірювань, не включаються.

3. Невизначеність, пов'язана зі стандартами на допоміжне приладдя: кінцеві міри, ступінчасті калібри чи установчі кільця, які використовуються при випробуваннях, як правило, включають як фактори, що вносять внесок у невизначеність вимірювання.

Під час вимірювання плоскопаралельні кінцеві міри довжини використовувались не за каліброваними, а номінальними значеннями. Оскільки кінцеві міри довжини, які використовувались при вимірюваннях, відповідають 3 класу точності за ДСТУ ГОСТ 9038, відповідно внесок від похибок мір слід включити у бюджет невизначеності.

4. Метрологічні характеристики повинні бути визначені при температурі 20 °С або мати номінальний робочий стан із визначеним температурним інтервалом, наприклад від 18 до 22 °С [4]. У стандартах [1; 2] границя допустимої похибки штангенциркулів задана для температури навколишнього середовища $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. У цьому випадку коригування результатів калібрування залежно від температури вимірювань не передбачено. Проте у нашому випадку усі значення максимально допустимої похибки МРЕ застосовуються за номінальних умов експлуатації для температури 20 °С точно. Тому значення випробувань відповідно до [5] повинні бути скориговані до температури 20 °С, щоб отримати похибку показів, яку штангенциркуль дав би, якби випробування проводилося при 20 °С. Якщо температурна корекція до 20 °С не виконується, то похибка може бути включена в оцінку невизначеності вимірювання. У звичайній практиці [7] поправка на температуру не вноситься, що має враховуватися в умовах невизначеності як впливаючий фактор.

Отже, визначимо бюджет невизначеності за таких умов:

- а) вимірювана довжина: 150 мм;
- б) блок кінцевих мір: 150 мм = 100 мм + 50 мм;
 - допуск на міру 100 мм: клас 3 ($\pm 2,5$ мкм);
 - допуск на міру 50 мм: клас 3 ($\pm 1,6$ мкм);
- в) діапазон температур під час випробування: $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$;
- г) різниця температур штангенциркуля і мір, не більше: 0,6 °С;
- д) матеріал штангенциркуля нержавіюча сталь серії 440, коефіцієнт лінійного розширення (КЛР), $(0-100 ^\circ\text{C})$: $\alpha = 10,1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$;
- е) матеріал кінцевих мір довжини невідомий, але за ДСТУ ГОСТ 9038:2009 відомо, що коефіцієнт лінійного розширення сталених мір складає 10,5-12,5 мкм на 1 м і 1 °С. Приймаємо значення КЛР мір максимально віддалене від КЛР штангенциркуля, тобто $\alpha = 12,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

Для плоскопаралельних кінцевих мір довжини 100 мм і 50 мм класу точності 3 передбачається прямокутний закон розподілу з границями 2,5 мкм і 1,6 мкм відповідно (табл. 7).

Внесок від відхилення температури від номінальної 20 °С, закон розподілу прямокутний:

$$\Delta L = L(20 - T)\Delta\alpha,$$

де L – номінальна довжина;

T – температура;

$\Delta\alpha$ – різниця КЛР між кінцевими мірами та штангенциркулем

$$\Delta\alpha = |\alpha_1 - \alpha_2| = |10,1 - 12,5| = 2,4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C};$$

$$\Delta L = (150 \text{ мм})(2^\circ\text{C})(2,4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}) = 0,72 \text{ мкм}.$$

Внесок від різниці температур між мірами і штангенциркулем, закон розподілу прямокутний:

$$\Delta L = L \Delta T \alpha,$$

де L – номінальна довжина;

ΔT – різниця між температурами кінцевих мір та штангенциркуля;

α – середнє арифметичне КЛР матеріалу кінцевих мір та штангенциркуля.

$$\Delta L = (150 \text{ мм})(0,6 \text{ }^\circ\text{C})(11,3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}) = 1,02 \text{ мкм}$$

Невизначеність типу А – не враховується.

Сумарна стандартна невизначеність:

$$u_c = \sqrt{u_{CB}^2} = \sqrt{1,45^2 + 0,92^2 + 0,42^2 + 0,59^2} = 1,86 \text{ мкм}.$$

Розширена невизначеність для коефіцієнта покриття $k=2$ ($P=95\%$):

$$U = k \times u_c = 2 \times 1,86 = 3,72 \text{ мкм}$$

Таблиця 7 – Бюджет невизначеності

Джерело невизначеності	Значення, мкм	Тип	Розподіл ймовірностей	Дільник	Стандартна невизначеність, мкм
Допуск міри 100 мм	2,50	В	прямокутний	1,73	1,45
Допуск міри 50 мм	1,60	В	прямокутний	1,73	0,92
Відхилення температури від номінальної 20 °C	0,72	В	прямокутний	1,73	0,42
Різниця температур між мірами і штангенциркулем	1,02	В	прямокутний	1,73	0,59

Максимально допустима часткова похибка контакту поверхні для розміру 150 мм складає 30 мкм (табл. 3). Якщо за замовчуванням використовується правило простого прийняття 4:1 відповідно до [5], тоді розширена невизначеність U повинна бути меншою за 25 % від значення МРЕ. У нашому випадку похибка 3,72 мкм становить 12,4 % від значення МРЕ, і тому встановлення відповідності може бути прийняте простим рішенням. За необхідності невизначеність вимірювання можна зменшити за рахунок більш жорсткого дотримання температурного режиму та використання плоскопаралельних мір довжини більш точного класу.

Таким чином, порівнявши дійсні відхилення з величинами гранично допустимих похибок $E_{\text{ЕМР}}$ та $S_{\text{ЕМР}}$, можна стверджувати, що перевірка точності індикації штангенциркуля показала його відповідність специфікації, а відповідно і придатність до роботи.

У протилежному випадку необхідно було б перевірку повторити або штангенциркуль відправити на ремонт, або вилучити з експлуатації чи збільшити невизначеність у використанні приладу.

Висновки. Методика оцінки точності індикації штангенциркулів за ISO 13385-1:2019 суттєво відрізняється від звичної методики за ДСТУ ГОСТ 8.113:2009 як за переліком і змістом процедур, так і за видами та значеннями гранично допустимих похибок.

В чинних нормативних документах різних країн кількість контрольних точок штангенциркуля суттєво відрізняється, наприклад, для штангенциркуля з діапазоном вимірювання 0-150 мм рекомендована кількість точок складає від 3 до 10. Очевидно, що більша кількість точок дає більш об'єктивну картину, але призводить до збільшення витрат часу на процедуру перевірки та, як наслідок, удорожчання процедури перевірки. З урахуванням критеріїв для вибору розміру контрольних точок для визначення часткової похибки контакту розроблені рекомендації, представлені в табл. 3.

Кількість вимірювань у кожній контрольній точці у різних методиках також відрізняється і становить: 1, 2, 3, 10. Рішення щодо відповідності приймається за значенням одного розміру з максимальним відхиленням від номінального розміру або за середнім арифметичним, не звертаючи уваги на заборону ISO 13385-1:2019 усереднювати чи іншим чином обробляти результати вимірювань. На наш погляд, достатньо виконати три повторних вимірювання у різних положеннях по довжині губок і внести в протокол значення з найбільшим відхиленням від номінального розміру.

Граничні допустимі похибки вимірювання є досить великими, наприклад, для штангенциркуля з діапазоном вимірювання 0-250 мм і з дискретністю цифрового пристрою 0,01 мм, залежно від довжини вимірювання, допустима похибка знаходиться в діапазоні від 0,02 до 0,03 мм, що у 2-3 рази перевищує цифровий крок приладу. Очевидно, є доцільним застосування простого правила прийняття рішення за одним значенням у контрольній точці. Розрахунок невизначеності вимірювання це підтверджує.

На підставі наведеного вище можна зазначити, що розроблені рекомендації дозволяють скоротити витрати часу та собівартість процедури проведення перевірки точності індикації штангенциркулів, що, у свою чергу, приведе до підвищення якості контролю деталей машин при їх виготовленні, за рахунок відсутності невірно бракованих та невірно прийнятих деталей.

Список використаних джерел

1. Держстандарт України. (2009). *ГСН. Штангенциркули. Методика поверки*. (ДСТУ ГОСТ 8.113:2009).
2. Держстандарт України. (2009). *Штангенциркули. Технические условия*. (ДСТУ ГОСТ 166:2009).
3. Держстандарт України. (2018). *Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT)*. (ДСТУ EN ISO 13385-1:2018).
4. Держстандарт України. (2022). *Геометричні специфікації виробу (GPS). Загальні концепції та вимоги до вимірювального обладнання GPS (EN ISO 14978:2018, IDT; ISO 14978:2018, IDT)*. (ДСТУ EN ISO 14978:2022).
5. Держстандарт України. (2022). *Геометричні специфікації виробу (GPS). Обладнання для вимірювання розмірів. Частина 1. Конструкція та метрологічні характеристики штангенциркулів (EN ISO 13385-1:2019, IDT; ISO 13385-1:2019, IDT)*. (ДСТУ EN ISO 13385-1:2022).
6. Centro Español de Metrología – official website. <https://www.cem.es/es>.
7. American Society of Mechanical Engineers [ASME]. (2018). *Calipers*. (ASME B89.1.14-2018).
8. Esz AG – official website. <https://www.esz-ag.de>.
9. International Organization for Standardization. (2012). *Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 6: Generalized decision rules for the acceptance and rejection of instruments and workpieces (ISO/TR 14253-6:2012)*.
10. *Accuracy and Calibration of Calipers*. (2018). Mitutoyo America Corporation. <https://www.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/15003A.pdf>.

References

1. Derzhstandart Ukrainy. [State Standard of Ukraine.] (2009). *HSY. Shtanhentsyrkuly. Metodyka poverky. (DSTU HOST 8.113:2009)- Calipers. Calipers verification method (DSTU GOST 8.113:2009)*.
2. Derzhstandart Ukrainy. [State Standard of Ukraine.] (2009) *Shtanhentsyrkuly. Tekhnicheskyye usloviya. (DSTU HOST 166:2009) - Calipers. Technical specifications. (DSTU GOST 166:2009)*.
3. Derzhstandart Ukrainy. [State Standard of Ukraine.] (2018). *Tekhnichni vymohy do heometrychnykh parametriv produktsii (GPS). Prylady dlia liniinykh ta kutovykh vymiriuvan. Chastyna 1. Shtanhentsyrkuli. Proektni ta metrolohichni kharakterystyky - Instruments for linear and angular measurements. Part 1: Calipers. Design and metrological characteristics (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT)*. (DSTU EN ISO 13385-1:2018).

4. Derzhstandart Ukrainy. [State Standard of Ukraine.] (2022). *Heometrychni spetsyfikatsii vyrobu (GPS). Zahalni kontseptsii ta vymohy do vymiriuvannia obladnannia GPS* - Geometric product specifications (GPS). General concepts and requirements for GPS measuring equipment (EN ISO 14978:2018, IDT; ISO 14978:2018, IDT). (DSTU EN ISO 14978:2022).
5. Derzhstandart Ukrainy. [State Standard of Ukraine.] (2022). *Heometrychni spetsyfikatsii vyrobu (GPS). Obkladnannia dlia vymiriuvannia rozmiriv. Chastyna 1. Konstruktsiia ta metrolohichni kharakterystyky shtanhentsyrkuliv* - Geometric product specifications (GPS). Equipment for measuring dimensions. Part 1: Design and metrological characteristics of calipers (EN ISO 13385-1:2019, IDT; ISO 13385-1:2019, IDT). (ДСТУ EN ISO 13385-1:2022).
6. Centro Español de Metrología – official website. <https://www.cem.es/es>.
7. American Society of Mechanical Engineers [ASME]. (2018). *Calipers*. (ASME B89.1.14-2018).
8. Esz AG – official website. <https://www.esz-ag.de>.
9. International Organization for Standardization. (2012). *Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 6: Generalized decision rules for the acceptance and rejection of instruments and workpieces* (ISO/TR 14253-6:2012).
10. *Accuracy and Calibration of Calipers*. (2018). Mitutoyo America Corporation. <https://www.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/15003A.pdf>.

Отримано 16.05.2025

UDC 621.0, 53.08

Yuriy Adamenko¹, Serhii Maidaniuk², Oleksandr Plivak², Serhii Lapkovsky⁴

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Design
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)
E-mail: yuriy.adamenko@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4232-3206>. **Researcher ID:** ACT-0127-2022

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Design
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)
E-mail: maysv3@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2853-8606>. **Researcher ID:** J-7542-2017

³Head of the Research (Experimental) Laboratory of Measuring Equipment of the Educational and Research Institute of Mechanical Engineering, Assistant Professor of the Department of Machine Design
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)
E-mail: aplivak@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3680-8485>

⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)
E-mail: Lapkovsky@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231>. **Researcher ID:** HCH-3837-2022

VERIFICATION OF THE CALIPERS DISPLAY ACCURACY

In advanced machine building, when manufacturing parts, it is imperative to control their geometric accuracy. Many measurements are made using calipers. It is important to make sure that the measuring devices meet requirements on the established accuracy, as this affects the measurement accuracy and, consequently, the quality of the product. Therefore, in the context of machine-building enterprises, it is necessary, according to established procedures, to verify the accuracy of devices, in particular, to check the indication of calipers. However, in current regulatory literature, methods for checking the indication of calipers are given in general terms, and the operator has to solve some of issues related to the accuracy verification on his own. Thus, machine-building enterprises need to have clear and understandable procedures for assessing the accuracy of devices in operation.

The article presents the theoretical analysis of regulatory documents and experimental studies that allowed us to develop practical recommendations on the verification procedure of the accuracy of calipers' indication, in particular, the choice of control points, the number of repeated measurements, and the decision on whether the device meets or does not meet the specification. The developed recommendations will reduce the time for checking the accuracy of the caliper indication, which, in turn, will reduce the cost of verification calipers and improve the quality of inspection of parts.

Thus, it can be noted that the developed recommendations can reduce time and cost of the procedure for verification the accuracy of calipers' indication, which, in turn, will lead to the increase in the quality of control of machine parts in their manufacture, due to the absence of incorrectly defective and incorrectly valid parts.

Keywords: caliper; verification of accuracy; metrological characteristics; indication errors.

Fig.: 7. References: 10.