

**Павленко В.Я.**

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України

## ВИБІР МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ І КОНУСІВ В ПРАКТИЦІ КОНТРОЛЮ ДЕТАЛЕЙ ТА ВИРОБІВ В ГАЛУЗІ ПРИЛАДО- ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

*Велика кількість важливих сучасних наукових та виробничих задач передбачає проведення різноманітних вимірювань механічних величин, зокрема кутів. Високоточні (прецизійні) кутові вимірювання необхідні у багатьох галузях науки і техніки, починаючи з розробки та виготовлення деталей, вузлів та виробів для виробничих, транспортних, військових і побутових потреб, будівництва, геодезії, радіо- та лазерної локації і закінчуючи астрономією, навігаційними та космічними системами [3]. При цьому галузі використання засобів для вимірювання кутів постійно розширюються, а якість кутовимірювальних засобів весь час покращується. Це обумовлено високими вимогами сучасного виробництва до якості продукції та робіт, що пов'язані з виготовленням та контролюванням деталей, вузлів та готових виробів.*

*Розвиток існуючих та створення нових методів вимірювання кутів та конусів неможливі без аналізу досягнутого рівня, їх різновидів і якості підходів. Вибір засобів вимірювань визначається вимірюваною величиною, прийнятим методом вимірювань та необхідною точністю результату вимірювання. Одну й ту ж метрологічну задачу можна вирішити за допомогою різних вимірювальних засобів, які мають не тільки різну вартість, але і неоднакову точність вимірювань та інші метрологічні показники, а відповідно дають розбіжні результати вимірювань. Вимірювання із застосуванням інструменту недостатньої точності малоцінні, навіть шкідливі, так як можуть бути причиною неправильних висновків. А застосування занадто точних засобів вимірювань економічно не вигідні. Тому при виборі засобів та методів контролю вимірювання кутів та конусів враховують діапазон вимірювань величини, яка вимірюється, клас точності, вимоги конструкторської документації, умови вимірювань, експлуатаційні засоби вимірювань та їх вартість.*

*В статті розглянуто методи і засоби вимірювання кутів і конусів в деталях та виробках приладо- та машинобудування, виготовленні точного інструменту та вимірювальної апаратури, проектуванні і створенні виробів точної механіки тощо. Проаналізовано види кутовимірювальних засобів (приладів), надано пояснення про кожну сферу їх застосування, обґрунтовано доцільність застосування тих чи інших кутомірів, надано рекомендації щодо їх вибору в залежності від умов конструкторської документації, технологічного процесу, призначення і конструкції виробів. Представлено методи та засоби для вимірювання кутів і конусів.*

**Ключові слова:** кути, конуси, гоніометричні вимірювання, кутовимірювальні засоби, кутоміри, похибка вимірювань, клас точності.

**Постановка проблеми.** Точність вимірювання в будь-якій галузі чи виробництві має важливе значення, від цього залежить кінцевий результат роботи. При виконанні токарних, фрезерувальних, слюсарних та складальних робіт, де відхилення кута від  $\pm 3''$  до  $\pm 5''$  (0 клас точності)<sup>1</sup> від заданого розміру загрожує відбракуванням, тому контроль якості вимірювань повинен бути надзвичайно точним. У багатьох виробках приладо- та машинобудування застосовують вузли і деталі, якість роботи яких залежить від точності їх кутових розмірів.

<sup>1</sup> За точністю виготовлення кутові міри поділяються на чотири класи точності: 0, 1, 2 і 3 в порядку зменшення їх точності. Наприклад, для кутових мір 0-го класу точності гранична похибка робочих кутів становить від  $\pm 3''$  до  $\pm 5''$ ; 1-го класу –  $\pm 10''$ ; 2-го класу –  $\pm 30''$ .

Такими вузлами і деталями є, наприклад, підшипники з конічними роликками, які є напрямними (типу «ластівчин хвіст»), кінці шпинделів металорізних верстатів, кінці інструментів, кути оптичних призм тощо. Необхідно враховувати, що якість відповідно до міжнародних стандартів серії ISO 9000, які застосовуються при створенні та удосконаленні систем менеджменту якості організацій, та Державного стандарту України ДСТУ ISO 9002-95 [1] – це комплексне поняття, під яким розуміється сукупність властивостей продукції, що визначає ступінь її придатності для використання за призначенням. Основними показниками якості відповідно до того ж стандарту є точність вимірювань та швидкодія [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вагомі науково-практичні дослідження у цій галузі зроблено такими українськими вченими як О.М. Безвесільна, С.С. Ткаченко [4], І.Ю. Черепанська, М.Ю. Сазонов [5], які розглядають актуальну проблему забезпечення високоточних та високопродуктивних гоніометричних вимірювань<sup>2</sup>, які необхідні в багатьох сучасних науково-технічних задачах у різних галузях промисловості. Більшість відомих на даний час гоніометричних систем характеризується недостатніми точністю і швидкодією, а також складністю і низьким рівнем автоматизації та недосконалістю програмного забезпечення [5]. Тому особливо гостро постає питання щодо вибору вимірювальних засобів та умов виконання вимірювань і оцінювань можливих границь похибки вимірювань. При цьому мається на увазі, що вимірювальний засіб відповідає пред'явленим вимогам і використовується професійним оператором.

**Постановка завдання.** На сьогодні в промисловості для вимірювань високоточних кутів та конусів використовується багато різновидів кутовимірювальної техніки, побудованої на різних методах. Основною метою цієї статті є ознайомлення з методами, засобами та принципами роботи кутовимірювальних інструментів і пристроїв з ціллю отримання результатів практичного досвіду щодо їх вибору та забезпеченні необхідної процедури контролю вимірювання кутів та конусів деталей, складань та готових виробів, враховуючи специфіку та метрологічне забезпечення лабораторії.

**Виклад основного матеріалу.** У приладо- та машинобудуванні кутові розміри зустрічаються досить часто: фаски, штампувальні і ливарні відхилення тощо. Кутові розміри можуть бути як незалежними, тобто не пов'язаними розрахунковими залежностями з іншими прийнятими кутовими розмірами, так і залежними – похідними від інших розмірів. Під час проектування та виготовлення продукції необхідною умовою є контроль деталей, вузлів та готових виробів. В розвинених країнах світу промислові підприємства оснащені сучасними верстатами, які виконують міжопераційні контрольні вимірювання безпосередньо в процесі обробки деталей та виробів, що здійснюються вимірювальною технікою вмонтованою в технологічне обладнання з високим ступенем

точності. На жаль, наприкінці 90-ти років минулого століття, машинобудівельна галузь втратила свій виробничий потенціал, всесвітньо відомі машинобудівельні підприємства України, науково-дослідні і проектно-конструкторські установи втратили свої пріоритети, припинили займатися модернізацією верстатів, пріоритетними перспективними дослідженнями і проектуванням верстатів нового покоління за допомогою сучасної інформаційної техніки, а також залучати провідних вчених на умовах договірної та іншого співробітництва. Великі машинобудівельні підприємства почали перетворюватись в окремі малі, без єдиної генеральної стратегії [6], внаслідок чого, на даний час підприємств з сучасним високоточними верстатами та обробними центрами з програмним керуванням в Україні небагато. Тому вимірювання кутових розмірів є задачею складною і, в більшості випадків, потребує вимірювань ручним інструментом.

Кутовимірювальні засоби – це інструмент або вимірювальні прилади, призначені для вимірювання кутів та конусів. Кути деталей та виробів вимірюють трьома основними методами: *методом порівняння* з контрольними мірами – жорсткі кутові міри; *абсолютним гоніометричним методом*, заснованим на використанні приладів з кутомірною шкалою; *тригонометричним методом*, який полягає у визначенні лінійних розмірів, пов'язаних з вимірюваним кутом тригонометричною функцією [2].

*Перша група приладів* – жорсткі кутові міри (кутники, конусні калібри, шаблони, тощо) призначені для передачі розміру плоского кута від еталонів до зразкових і робочих кутових мір, перевірки і градування кутомірних приладів і спеціальних кутових мір (шаблонів), а також для безпосереднього вимірювання кутових виробів [7]. Для виготовлення і контролю вимірювальної техніки в приладо- та машинобудуванні застосовуються спеціальні мірні плиткі. Існують різні набори призматичних кутових мір призначених для контролю вимірів зовнішніх і внутрішніх кутів інструментів, кутових шаблонів, кутів деталей та виробів. Виготовляються вони із загартованої високоякісної сталі і подаються в набори, виготовлені з кутових плиток<sup>3</sup>. Вимірювання за допомогою кутових мір (плиток) полягає у встановленні розміру найбільшого просвітку (смуги утвореної світлом) між сторонами вимірюва-

<sup>2</sup> Гоніометрія це наука, яка базується на вимірюванні кута, застосовується для визначення конкретного кута об'єкта або для розташування об'єкта під конкретним кутом. Прецизійна інтелектуальна гоніометрична система дозволяє проводити високоточні кутові вимірювання при попередній виставці навігаційних чутливих елементів, плоских кутів та пірамідальності призм, а також інших об'єктів виробництва.

<sup>3</sup> Існують такі типи кутових плиток: тип I – з одним робочим кутом зі зрізаною вершиною; тип II – з одним робочим кутом гострокутні; тип III – з чотирма робочими кутами. Є набори, які мають ще додатково IV та V типи: IV – призматичні з рівномірним кутовим кроком; V – з трьома робочими кутами.

ного кута та кутової міри або повної відсутності просвітку між ними. Просвіток порівнюють на око із набором просвітів, розміри яких відомі (5 мкм – 10 мкм), або оцінюються за допомогою щупів (більше 30 мкм). Відхилення робочих кутів складають: для мір 1-го класу  $\pm 10''$ ; для мір 2-го класу  $\pm 30''$  [7]. Для вимірювання прямих кутів, в залежності від класу точності, застосовують *кутники* різних типів [8]. Метод вимірювання так само, як і в плитках, заснований на вимірюванні просвітку між поверхнями деталі і кутника впродовж торкання цих поверхонь. Промисловість випускає кутники чотирьох класів точності<sup>4</sup>. Найбільш розповсюдженими є кутники у  $90^\circ$ .

До цієї ж групи належать *калібри* (рисунок 1). *Конусний калібр* – без-шкальний засіб вимірювальної техніки, призначений для контролю, який відтворює кутові розміри, і який контактує з елементами виробу поверхнями, лініями чи точками. Калібрами не можна вимірювати дійсні значення кутів деталей та визначати їх числові значення. Вони служать тільки для перевірки числових значень кутів деталей і визначення класу точності відповідно конструкторській документації. За допомогою конусних калібрів з'ясовують чи знаходиться дійсний розмір кута, що вимірюється, у полі допуску. Для перевірки кута конусності вала застосовують калібри-втулки (повні та неповні), а для перевірки кута конусних втулок – конусні калібри-пробки. При контролі кута конусності вала вздовж лінії, що утворює конус м'яким графітовим олівцем наносять пряму лінію та обережно вводять вал всередину конусного калібру-втулки. Прикладають достатнє осьове зусилля для щільного прилягання конічних поверхонь вала та втулки, повертають їх відносно один одного на невеликий кут. Якщо лінія, що утворює конус вала прямолінійна і кут конуса виконаний правильно, то графіт олівця рівномірно розподілиться вздовж усієї довжини конуса, в противному випадку утворяться риси чи окремі плями. При перевірці внутрішньої конічної поверхні деталі лінію олівцем наносять на калібр-пробку [8].



Рис. 1. Конусні калібри

<sup>4</sup>Клас точності кутника характеризує значення похибки, тобто відхилення кінця довгої сторони кутника від перпендикуляра, опущеного на основу. Кутники 0-го класу застосовують для лекальних робіт, 1-го класу – для особливо точних робіт, 2-го класу – для звичайних робіт, 3-го класу – для монтажних робіт.

До другої групи відносять прилади для вимірювання кутів методом порівняння їх з кутом, на який налаштовується вимірювальний прилад, наприклад *тангенсні і синусні лінійки*, які служать для точних вимірювань кутів непрямым методом: спочатку визначають лінійні відхилення, які шляхом тригонометричних обчислень перетворюють у кутові величини [2].

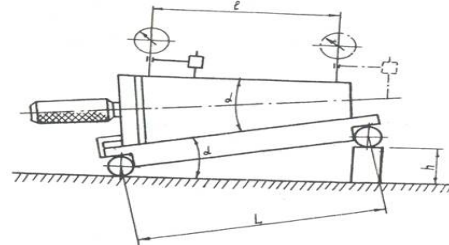


Рис. 2. Встановлення синусної лінійки

На роликах однакового діаметру з точно витриманою відстанню ( $L$ ) між їх осями (100 мм або 200 мм) встановлено столик, площина якого паралельна лінії, що з'єднує осі роликів. При встановленні синусної лінійки на плиті (рисунок 2) площина столика буде паралельна площині плити, а при зміні положення одного із роликів відносно площини плити столик буде розташований до неї під кутом. Під ролик підкладаємо блок кінцевих мір певного розміру ( $h$ ). На точній плиті встановлюють синусну лінійку і тримач з вимірювальною голівкою\* (індикатором, мікрокатером і т.п.). Потім на столик встановлюють деталь, яку необхідно виміряти, з використанням упорних планок, які запобігають її зміщенню. Розмір блоку кінцевих мір ( $h$ ) розраховується за формулою  $h = L \times \sin \alpha$ , де  $L$  – відстань між осями роликів,  $\alpha$  – номінальний кут деталі. Перевірка відхилення від паралельності проводиться переміщенням тримача з вимірювальною голівкою. Для визначення дійсного кута деталі лінійні відхилення шляхом обчислень перетворюють в кутові величини за формулою  $\sin \alpha = h/L$ , де  $h$  – розмір блоку кінцевих мір після того, як твірна конусної деталі, що вимірюється виставлена паралельно плиті.

\*Примітка. Вимірювальні голівки, індикатори, мікрокатери, тощо [2] застосовуються для вимірювання кутів при використанні пристроїв, що фіксують необхідне кутове положення граней або інших елементів деталі. Відлікові пристрої вимірювальних головок бувають як механічними (лімба з ноніусом), так і оптичними.

*Принцип синусної лінійки* використовується, наприклад, у конструкціях різних приладів для передачі рухів під кутом до основного руху, у пристроях до металорізальних верстатів при обробці деталей із похилими поверхнями.

Широкого застосування в приладобудуванні, машинобудуванні та інших галузях промисловості набули прилади, які базуються на порівнянні вимірюваного кута з кутовою шкалою: кутоміри з ноніусом, оптичні кутоміри, ділильні головки, ділильні столи, гоніометри і т. д., які становлять *третю групу приладів*.

Промисловість випускає *механічні (ноніусні) кутоміри* різних конструкцій. За конструкцією механічні (ноніусні) кутоміри відрізняються тим, що одні кутоміри застосовують для вимірювання зовнішніх кутів, інші є більш універсальними.



Рис. 3. Універсальний кутомір з ноніусом

*Універсальні кутоміри з ноніусом* (рисунок 3) призначені для вимірювання зовнішніх і внутрішніх кутів в зазначених діапазонах та використовуються як засіб вимірювання при проведенні робіт з механічної обробки деталей або для контролю точності виготовлення при прийманні готових деталей та вузлів відділами технічного контролю [7]. Ціна поділки основної шкали у всіх кутомірив  $1^\circ$ , ціна поділки ноніусної шкали буває  $2'$ ,  $5'$  і  $10'$ . Механічні шкальні кутоміри мають кутовий ноніус. Правила відліку кутовим ноніусом аналогічні правилам відліку за ноніусом штангенциркуля і інших штангенінструментів, тільки вимірюване значення виражене в кутових одиницях.

Універсальний кутомір використовується для вимірювання зовнішніх кутів від  $0$  до  $180^\circ$  і внутрішніх від  $40^\circ$  до  $180^\circ$ .

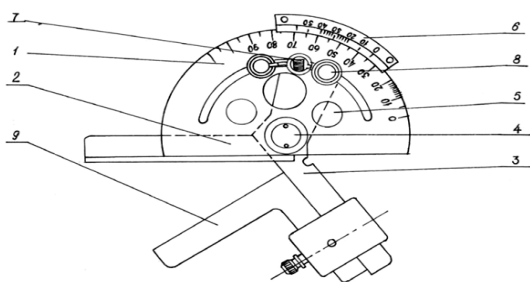


Рис. 4. Транспортний кутомір

*Транспортним кутоміром* (рисунок 4) вимірюють зовнішні кути від  $0$  до  $180^\circ$  [10]. Основні час-

тини кутоміра – напівдиск 1 з двома лінійками 2 і 3. Лінійка 2 жорстко з'єднана з напівдиском 1, а лінійка 3 може обертатися навколо вісі 4 разом із сектором 5, на якому закріплено ноніус 6. Точне встановлення за ноніусом виконується мікрометричним гвинтом 7. Лінійка 3 закріплюється гвинтом 8. Застосовуючи додатковий косинець 9, можна виміряти зовнішні кути від  $0$  до  $90^\circ$ . Ціна поділки транспортного кутоміра становить  $2'$  і  $5'$ . Похибка показань кутоміра не перевищує  $\pm 2'$  і  $\pm 5'$ .



Рис. 5. Кутонір маятниковий

*Маятникові кутоміри* (рисунок 5) призначені для того, щоб отримувати точні вимірювання. Вони поширені в інструментальному виробництві, працюють за принципом маятника. Шкала залишається нерухомою, переміщається під час використання тільки стрілка, яка ставиться на протизагу. На круговій шкалі маятникового кутоміра є ділення. За ним відраховуються кути повороту маятника. При проведенні вимірювань, контрольна лінійка встановлюється на поверхні використовуваного ріжучого інструменту [11].

*Оптичні кутоміри* (рисунок 6) відрізняються по наявності так званого «ока» – оптичної лінзи 4, яка використовується для проведення вимірювань. Кутонір змонтований на округлій основі 1 та скріплений з круговою шкалою – лімбом 2, де за допомогою важеля із зубчатою передачею рухається накривка 3, зі шкалою ноніуса 4 та скляною лінзою, яка дозволяє більш точно зняти показники приладу. Накривка кріпиться до основи за допомогою гвинта, який дозволяє закріпити одну із двох лінійок з пазами, в які входить шпонка. До основи кутоміра прикріплена пластина з фіксованим проміжком 3 мм між пластинами. В проміжок між цими двома гвинтами за допомогою мікрогвинта 5 приєднана одна (жорстко фіксована) з двох вимірювальних баз кутоміра, яка виконана у вигляді невеликої лінійки зі скосом 6. Вимірювання проводиться контактним методом. Точне встановлення при вимірі кутів забезпечується мікрометричною подачею, шляхом обертання гайки з накаткою, розташованою з тильної сторони кутоміра. Фік-

сація виконуються за допомогою стопорного пристосування. Перевага оптичного кутоміра полягає у можливості вимірювання кутів, розмірів їх сторін, всіляких складних контурів шляхом різних комбінацій окремих вимірювальних ланок кутоміра (змінні лінійки, що додаються до кутоміра мають різні скоси на кінцях, що дозволяє вибрати найбільш зручну схему вимірювань).

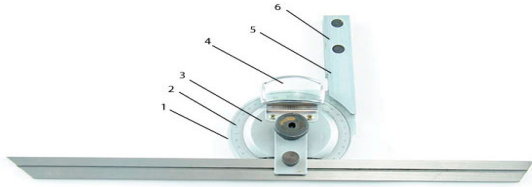


Рис. 6. Оптичний кутомір

До третьої групи також відносяться і рівні оскільки мають кутову шкалу, нанесену на дузі кола. Чутливим елементом таких рівнів є скляна ампула з рідиною. Рівні служать для вимірювання малих кутових відхилень від горизонтальної площини.

Четверту групу становлять прилади, застосування яких ґрунтується на визначенні розміру сторони прямокутного трикутника (при постійному розмірі іншої сторони) й обчисленні за тригонометричними функціями синуса і тангенса значення шуканого кута (синусні та тангенсні лінійки) вимірювальні мікроскопи, координатно-вимірювальні машини, спеціальні пристрої і т. п.

Інструментальні мікроскопи призначені для вимірювання оптико-механічним методом кутових та лінійних розмірів різних деталей складної форми – різьбового ріжучого інструмента, черв'ячних фрез, лекал, кулачків, фасонних профілів тощо [9]. Вимірювання відбувається як тригонометричним методом, який полягає у визначенні лінійних розмірів, пов'язаних з вимірюваним кутом тригонометричною функцією, так і за допомогою кутомірної окулярної головки<sup>5</sup>.

Найбільш точними оптичними приладами для безконтактного вимірювання кутів є *гоніометри* і призначені вони для вимірювання кутів між плоскими гранями, що добре відбивають світлові промені. Вимірювання кутів можливе як на непрозорих, так і на прозорих тілах.

Для вимірювання кутів деталей великих габаритів в машинобудуванні використовується *лазерне обладнання* – досить точне, зручне та просте в експлуатації. Працює воно за принци-

пом напрямку променя на точку. Але частіше таке обладнання використовується в будівництві.

**Висновки.** Отже методи і методики вимірювання кутів, які застосовуються при контролі деталей, вузлів, інструментів та ін. дуже різноманітні і залежать від:

*допустимої похибки вимірювань*, визначеної конструкторською документацією;

*діапазону вимірювань* (області значень, в границях яких нормовані допустимі границі похибки);

*конфігурації об'єкта*, що вимірюється;

*умов вимірювання* (температура, вологість, атмосферний тиск, вібрації й ін.);

*якості засобів вимірювання* та їх вартості.

За принципом роботи і особливостями конструкції всі запропоновані моделі можна розділити на:

*механічні* (транспортні кутоміри, універсальні кутоміри з ноніусом) – максимально точний та компактний інструмент для вимірювання зовнішніх і внутрішніх кутів;

*синусні та тангенсні лінійки*, які служать для точних вимірювань кутів непрямым методом;

*маятникові кутоміри* – використовується для отримання точних вимірювань в інструментальному виробництві;

*оптичні* – мають спеціальну лінзу, для проведення більш точних вимірювань;

*ділильні головки* – максимально точний інструмент, але використовується тільки з допоміжними пристроями;

*інструментальні мікроскопи* – призначені для вимірювання оптико-механічним методом кутових та лінійних розмірів різних деталей складної форми;

*лазерні* – переважно для вимірювань габаритних деталей;

*електронні або цифрові* – мають дисплей з показниками вимірювань, що полегшує роботу оператора;

*жорсткі кутові міри* (кутники, конусні калібри, тощо) які є скоріше шаблонами, ніж повноцінним вимірювальним інструментом.

Варто знати, що основним принципом вибору засобів вимірювань є те, що точність засобу вимірювання повинна бути вищою у порівнянні із заданою точністю виконання вимірюваної величини, а трудомісткість виконуваних вимірювань та їх вартість – по можливості низькими, але такими, що можуть повністю забезпечувати високу продуктивність та ефективність виконуваних робіт. Отже, важливо оцінити переваги та недоліки методів та засобів вимірювання кутів та конусів і зробити зважений висновок у виборі різних видів кутовимірювальних інструментів відповідно до розмірів і допусків, заданих конструктором, при виготовленні деталей.

<sup>5</sup> Кутомірна окулярна головка складається із корпусу, на якому змонтовані окуляр, маховик, відліковий мікроскоп і дзеркальце. Цю головку застосовують для лінійних і кутових вимірювань. Всередині корпусу головки є скляна пластина зі штриховою сіткою та лімба, розмічений по колу на 360 рівних поділок. Пластина зі штриховою сіткою і лімба градусної шкали жорстко з'єднані між собою та мають спільний центр обертання, який знаходиться на оптичній осі мікроскопа. Штрихову сітку спостерігають у центральній окуляр мікроскопа, а градусну та хвилинну – у відліковій кутомірній мікроскоп.

## Список літератури:

1. ДСТУ ISO/TS 9002:2017 Системи управління якістю. Настанови щодо застосування ISO 9001:2015.
2. Технічні вимірювання. Кутові вимірювання. URL:<https://studfile.net/preview/5730200> (дата звернення: 26.10.2024).
3. Безвесільна О.М., Ткаченко С.С. Аналіз складових похибки вимірювання кутів високоточним вимірювачем кута. URL:[cyberleninka.ruhttps://cyberleninka.ru › article›analiz-skladovih-poh](https://cyberleninka.ru/article/analiz-skladovih-pohibki) (дата звернення: 26.10.2024).
4. Черепанська І.Ю., Безвесільна О. М., Сазонов А. Ю. Прецизійна інтелектуальна гоніометрична система // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2019 URL:[http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi\\_2019\\_2\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2019_2_3) (дата звернення: 29.10.2024).
5. Черепанська І.Ю., Прецизійна приладова система вимірювання кутів: URL:[kpi.uahttps://ela.kpi.ua › bitstream › Cherepanska\\_diss](https://ela.kpi.ua/bitstream/Cherepanska_diss) (дата звернення: 26.10.2024).
6. Кузнецов Ю.М. Роль науки в розвитку цільових механізмів і верстатного оснащення в Україні. URL:[ztu.edu.uahttps://library.ztu.edu.ua › Process\\_obrobky\\_5\\_1](https://library.ztu.edu.ua/Process_obrobky_5_1) (дата звернення: 26.10.2024).
7. Засоби вимірювання кутів та конусів. URL:[BukLib.buklib./nethhttps://buklib.net › books](https://buklib.net/books) (дата звернення: 28.10.2024).
8. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Вимірювання кутів та конусів. URL:[tsatu.edu.uahttps://elib.tsatu.edu.ua › mtf](https://elib.tsatu.edu.ua/mtf) (дата звернення: 26.10.2024).
9. Вимірювання лінійних та кутових розмірів деталей на інструментальному мікроскопі. URL:[studfile.nethhttps://studfile.net › page:3](https://studfile.net/page/3) (дата звернення: 26.10.2024).
10. Методи вимірювання та контролю конічних поверхонь. URL:[pto.org.uahttps://turner2.pto.org.ua › tu](https://turner2.pto.org.ua) (дата звернення: 26.10.2024).
11. Кутомір: різновиди інструменту. URL:[montagnik.comhttp://montagnik.com › texnika](http://montagnik.com) (дата звернення: 28.10.2024).

**Pavlenko V.Ya. CHOICE OF METHODS AND TOOLS FOR MEASURING ANGLES AND CONES IN THE PRACTICE OF CONTROL OF PARTS AND PRODUCTS IN THE FIELD OF INSTRUMENT AND MECHANICAL ENGINEERING**

*A large number of important modern scientific and industrial problems involve various measurements of mechanical quantities, in particular angles. High-precision (precision) angular measurements are necessary in many fields of science and technology, starting with the development and manufacture of parts, assemblies and products for industrial, transport, military and household needs, construction, geodesy, radio and laser location, and ending with astronomy, navigation and space systems. At the same time, the fields of use of angle measuring tools are constantly expanding, and the quality of angle measuring tools is constantly improving. This is due to the high requirements of modern production for the quality of products and works related to the manufacture and control of parts, assemblies and finished products.*

*The development of existing and creation of new methods for measuring angles and cones is impossible without analyzing the level of progress achieved, their types and quality of approaches. The choice of measuring instruments is determined by the measured value, the adopted measurement method and the required accuracy of the measurement result. The same metrological task can be solved with the help of different measuring instruments, which have not only different costs, but also different measurement accuracy and other metrological indicators, and, accordingly, give different measurement results. Measurements using an instrument of insufficient accuracy are of little value, even harmful, as they can lead to incorrect conclusions. And the use of too accurate measuring instruments is economically unprofitable. Therefore, when choosing the means and methods of controlling the measurement of angles and cones, the measurement range of the measured value, accuracy class, requirements of the design documentation, measurement conditions, operational measuring instruments and their cost are taken into account.*

*The article discusses the methods and means of measuring angles and cones in parts and products of instrument and mechanical engineering, the manufacture of precision tools and measuring equipment, the design and creation of precision mechanics products, etc. The types of angle measuring devices (instruments) were analyzed, each field of their application was explained, the expediency of using certain angles was substantiated, and recommendations were given regarding their choice depending on the conditions of the design documentation, the technological process, the purpose and design of the products. Methods and tools for measuring angles and cones are presented.*

**Key words:** angles, cones, goniometric measurements, angle measuring devices, protractors, measurement error, accuracy class.