

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 531.7.08

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.2/03>**Павленко В.Я.**Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

ІНДИКАТОРНИЙ ІНСТРУМЕНТ ЯК ЗАПОРУКА ЯКОСТІ В ПРАКТИЦІ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ: МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ

Якість, і відповідно, конкурентоспроможність продукції багато в чому визначаються станом виміральної техніки на підприємстві. Контроль лінійних величин є найбільш розповсюдженою областю вимірювань в науці та техніці – він є складовою частиною технічних вимірювань завдяки яким визначаються розміри деталей та виробів або окремих їх елементів. Вимірвальна техніка є невід’ємною частиною будь-якого виробництва, адже, в залежності від специфіки виробництва та конструкторської документації, вимірювання проводяться в різних діапазонах значень та з різною точністю. У статті розглянуто особливості індикаторних вимірвальних інструментів, проблеми вибору засобів та методів контролю геометричних розмірів деталей та складальних одиниць класів точності (0–12) квалітетів¹ а також вимірювань у важкодоступних місцях (зовнішні та внутрішні діаметри, глибини отворів, параметри різьби, зубчасті зчеплення, паралельність площин та ін.). Стверджено, що при виборі вимірвального інструмента враховують розмір деталі або виробу, метод та умови проведення вимірювань, квалітет (клас точності) вимірюваної продукції, допустиму похибку засобу вимірювань.

Проаналізовано види індикаторів, розтлумачено про кожну сферу їх застосування, обґрунтовано доцільність застосування того чи іншого виду індикатора, надано рекомендації щодо вибору вимірвального інструмента в залежності від умов конструкторської документації, технологічного процесу і конструкції виробу.

Ключові слова: засоби вимірювання, вимірвальний інструмент, методи контролю, індикатори, похибка вимірювань.

Постановка проблеми. В серійному виробництві механічних деталей та при виконанні слюсарних та складальних робіт, де відхилення від заданого розміру на мікрометр загрожує відбракуванням, контроль якості вимірювань повинен бути не тільки точним, але й швидким. У більшості випадків для рішення подібних задач використовують індикатори (високоточні вимірвальні головки), які по точності вимірювань перевершують інші вимірвальні інструменти. При вимірюванні штангенінструментом ми отримуємо точність до десятих або сотих міліметра (в залежності від моделі), тоді як, при застосуванні індикаторів показана точність до тисячної долі міліметра. Індикаторний інструмент може використовуватись для вимірювань величини відхи-

лень від заданої геометричної форми чи взаємного розташування поверхонь або як показувальний пристрій індикаторної скоби, індикаторного глибиноміра або індикаторного нутроміра. Важливо чинити зважений висновок вибору вимірвальних інструментів відповідно до розмірів і допусків при виготовленні деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процесам контролю якості (методам та засобам вимірювання) присвячено багато теоретичних і практичних досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених. Дослідженнями цих питань займалися такі науковці, як Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О., Артюхов О.М., Адаменко Ю.І., Майданюк С.В., Мініцька Н.В., Плівак О.А., Ушенко О.Г., Житарюк Д.І. та ін. [1, 5, 9]. Багато публікацій щодо оцінки індикаторів різних видів [2, 3, 6, 7, 8], але всі вони переважно довідкового або рекламного характеру. Тоді як практичних рекомендацій щодо вибору індикаторного інструмента із врахуванням

¹ Квалітетом називають характеристику точності виготовлення деталі або виробу, яка визначає допуски на виготовлення (виробництво), відповідно, методи і засоби обробки, контролю. В Україні передбачено 20 квалітетів: 01; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; S; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 1S [10].

розмірів деталей, методів та умов проведення вимірювань, якості (класу точності), допустимої похибки та засобу вимірювань обмаль. Тому, незважаючи на значну кількість наукових публікацій, присвячених проблемам метрології, ця стаття може бути корисною для виробників та служб контролю якості.

Постановка завдання. Мета статті – ознайомити читача з видами індикаторів, методами та способами вимірювань деталей з особливими вимогами. Оцінити переваги та недоліки різних видів індикаторів з ціллю раціонального вибору інструмента для дослідного та серійного виробництва.

Користування неправильно підібраним інструментом приводить до того, що деталі, прийняті за результатами вимірювання як придатні, можуть виявитися непридатними чи навпаки, а при складанні, деталі, перевірені не досить точним інструментом, можуть дати інші зазори або натяги, ніж це передбачав конструктор. Тому треба враховувати показники безперебійної роботи індикаторів, які обумовлені властивостями матеріалів, точністю складання, наявністю сертифікатів щодо проходження метрологічних випробувань. Наприклад, для запобігання зниження амортизації (абразивного старіння) вимірювальні наконечники індикаторів та вимірювальних головок покривають твердим сплавом, а при роботі в агресивному середовищі, при підвищеній запиленості, вологості та вібраціях випускаються індикатори в герметичному нержавіючому корпусі зі ступенем захисту IP65². Не менш важливою деталлю є зручність при вимірюваннях. Скажімо, цифрові індикатори оснащені функцією автоматичного встановлення нуля та кнопками для перемикання одиниць вимірювання, а великі цифри на дисплеї полегшують напруження зору. Деякі види цифрових індикаторів мають інтерфейси для передачі даних на ПК (що пришвидшує роботу оператора), а також мають функції введення границь та різних режимів вимірювань.

Виклад основного матеріалу дослідження. *Індикатори* – це відлікові пристрої, що перетворюють малі переміщення вимірювального стрижня у великі переміщення стрілки за шкалою тобто здійснюють індикацію зміни якогось параметра контрольованого процесу у формі, зручній для візуального сприйняття. Індикаторами вимірюють відхилення розташування площин деталей, а також овальність, конусоподібність, бочкоподібність

² IP ступінь захисту (міра захисту), що перевіряється стандартними методами випробувань, який унеможливує попадання зовнішніх предметів всередину оболонки.

валів і циліндрів, биття зубчастих коліс, шпинделів, шківів та інших деталей типу тіл обертання. В залежності від способу переміщення механізму поділяються на: індикатори годинникового типу; важільно-зубчасті індикатори; пружинні індикатори, багатооборотні індикатори.

Треба розуміти, що індикатори працюють тільки в сукупності з допоміжними засобами: штативами, скобами, контрольними пристосуваннями. Після закріплення індикатора на тримачі (штативі) спочатку необхідно встановити на шкалі нульове значення – закріпити на столику тримача еталонну міру та провести контрольне калібрування обертаючи ободок шкали індикатора, доки не відбудеться збіг стрілки з нульовою позначкою. Після такої, на перший погляд, нехитрої операції індикатор готовий до вимірювань: вироби або деталі акуратно, без ударів закріплюються під вимірювальним наконечником і вимірюються у будь-якій точці площини. Індикатор показує величину відхилення розмірів від еталона, що спрощує безперервний контроль однотипних деталей – оператору немає необхідності щоразу рахувати різницю розмірів самостійно.

Розглянемо основні види індикаторів по порядку.

Індикатори годинникового типу є найбільш застосовуваними на підприємствах машинобудування, металургійного комплексу, в ремонтних майстернях та ін. і є найбільш розповсюдженими для відносних вимірювань [2]. Вимоги до характеристик вказані в ДСТУ ГОСТ 577:2009 [11].

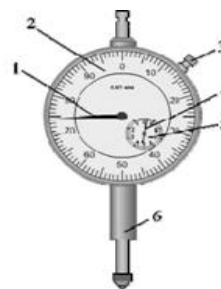


Рис. 1. Індикатор годинникового типу:

Стандарт регламентує виготовлення індикаторів годинникового типу з діапазонами вимірювань (0–2) мм, (0–5) мм, (0–10) мм, (0–25) мм.

Індикатор годинникового типу (рисунок 1) з ціною поділки 0,01 мм із пересуванням вимірювального стрижня паралельно до шкали призначений для відносних вимірювань зовнішніх розмірів, відхилень форми і розташування поверхонь а також є показувальним пристроєм індикаторної скоби, індикаторного глибиноміра й індикаторного

нутроміра. На лицьовому боці циферблата індикатора є дві стрілки і дві шкали; велика стрілка (1) над оцифрованою круглою шкалою (2) і мала стрілка (4) над відліковою шкалою (5). Кругова шкала має ціну поділки 0,01 мм, а мала шкала – 1 мм. Пересування вимірювального стрижня (6) на 1 мм викликає поворот стрілки (1) на 100 поділок (один повний оберт), а стрілки (4) – на одну поділку. Шкала (2) індикатора разом із ободком при установці шкали на нульову поділку повертається відносно великої стрілки (1) і фіксується стопором (3). Такі індикатори знайшли своє застосування у контрольно-вимірювальних операціях у машинобудуванні для проведення вимірів (5–10) класів точності, у випадку, коли інші засоби вимірювань не забезпечують заданої точності. Використовуються у виробництві для контролю точності встановлення предметів обробки на технологічному обладнанні та для контролю відхилень розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь деталей та вузлів. Основні переваги індикатора годинникового типу – універсальність і простота використання при високій точності вимірювань.

Вимірювальна головка – це конструктивно відокремлений вузол, що містить корпус з передавальним механізмом, шкалою і покажчиком, рухомий стрижень з вимірювальним наконечником і елементи кріплення [8]. Головки використовують для порівняльних вимірювань і перевірки відхилень форми, розмірів і взаємного розташування поверхонь деталей і складальних одиниць. За принципом дії вимірювальні головки розділяють на пружинні, важільно-зубчасті, важільні.

Важільно-зубчастий індикатор ІРБ – сучасне обладнання, яке використовують для відносних а також абсолютних вимірів лінійних розмірів [3]. З його допомогою контролюються різні відхилення від певної геометричної форми. Прилад має спеціальний вимірювальний поворотний важіль. Він відрізняється невеликими габаритними розмірами і можливістю бічної дії індикатора. Це дозволяє застосовувати його в різних важкодоступних місцях складних деталей та конструкцій. Використовуючи такий індикатор, можна легко визначити відхилення розмірів конструкцій відносно певного еталона. Похибка вимірювань при цьому є мінімальною.

Працює таке обладнання за принципом порівняння еталона з деталями, що вимірюються. Індикатор закріплюють на додатковому допоміжному пристрої. Наприклад, це може бути спеціальна стійка або штатив з досить великою, потужною основою. Під стрижнем самого вимірюваль-

ного приладу встановлюють еталонний зразок. Застосовуються пристрої такого типу у багатьох галузях промисловості. Але найчастіше використовують їх саме у машинобудуванні, а також у металообробній галузі, у процесі виробництва різних деталей, пристроїв, серійних приладів та виробів. Перевагою важільно-зубчастих індикаторів є: висока точність вимірів; мінімальна похибка; простота конструкції; зручність в експлуатації; універсальність застосування; доступ до тих місць, які є недоступними для інших вимірювальних приладів; доступність у придбанні (невисокі ціни). Важільно-зубчасті індикатори ІРБ також застосовуються для вимірювання осевого та радіального биття методом порівняння розташування поверхні та відхилення форми.

Багатооборотні індикатори (рисунк 2) призначені для лінійних вимірювань методом безпосередньої оцінки або методом порівняння з еталонною мірою. Ціна поділки шкали 0,001 мм, а діапазон вимірювань від 0 до 1 мм. Вимірювальні головки бувають (0–1) класів точності [4].



Рис. 2. Загальний вигляд індикатора багатооборотного

Використовуються багатооборотні вимірювальні головки спільно зі стояками і штативами та іншими пристосуваннями для вимірювальних головок та індикаторів у різних галузях машинобудування і приладобудування. Їх вважають найточнішими важільно-механічними вимірювальними пристроями. У цього індикатора механізм перетворення лінійного переміщення вимірювального стрижня у кутове переміщення стрілки складається з важільних і зубчато-пружинних механізмів. Вимірювання відбувається контактним методом за допомогою вимірювальної головки. Особливістю конструкції є відсутність тертя завдяки чому досягається висока точність показників, а механізм індикатора влаштований так, що в процесі вимірювання тиск вимірювальної головки на деталь мінімальний, тобто він розвантажений від вимірювального зусилля, що підвищує довговічність приладу.

Пружинні індикатори це прилади з пружинним перетворювачем лінійного руху в обертальний [5, 6]. Внаслідок відсутності механічних передач ці прилади володіють простою конструкцією, високою точністю, стабільністю та надійністю.

Прилади з пружинною і пружинно-оптичною передачею випускають таких типів: головки вимірювальні пружинні типу ІПП (*мікрокатори*); головки вимірювальні пружинні малогабаритні типу ІПМ (*мікатори*); головки пружинні типу ІРП (*мінікатори*); головки вимірювальні пружинно-оптичні (*оптикатори*).

Застосування плоских пружин та мембран замість класичних механічних передач забезпечує їх надійну роботу в умовах запиленості, підвищеної вологості та вібрацій. В пружинних передачах для перетворення незначних переміщень вимірювального наконечника у значно більші переміщення візуального покажчика (стрілки) використовуються плоскі, прямі, зігнуті або закручені пружні металеві стрічки.

Пружинні індикатори [6] випускаються з ціною поділки від 0,001 мм та діапазонами вимірювань від 0,08 мм до 0,600 мм і відрізняються універсальною точністю вимірювань, яка підходить для контролю розмірів виробів (0–7) класів точності.

Принцип роботи *мікрокатора* ІПП заснований на вимірюваннях довжини пружини під дією важеля, яке приводить у рух стрілку індикатора. Мікрокатори відносяться до пружинних вимірювальних головок, і мають низку переваг (відсутність «мертвого ходу»; мінімальне тертя в ланках механізму; похибку, яка досягає 0,0001 мм).

Мікрокатори призначені для абсолютних і відносних лінійних вимірювань, для контролю відхилення форми та розташування поверхонь. Мають широкий діапазон значень ціни поділки, володіють підвищеною точністю.

Істотним недоліком мікрокатора є застосування для відліку дуже тонкої, ледве помітної стрілки, що при тривалому застосуванні стомлює зір оператора. Окрім цього, розміщення стрілки на досить значній відстані від площини шкали збільшує похибку паралаксу. Також недоліком пружинних індикаторів є обмежений діапазон вимірювань.

Мікатори і мінікатори [7] мають такий же пружинний механізм, як і мікрокатори. Мікатори в залежності від типу мають ціну поділки шкали від 0,0002 мм до 0,002 мм і межі вимірювання за шкалою від $\pm 0,010$ мм до $\pm 0,100$ мм, тоді як мінікатори мають ціну поділки шкали 0,001 мм і 0,002 мм і межі вимірювання за шкалою $\pm 0,04$ мм і $\pm 0,08$ мм.

Пружинна малогабаритна вимірювальна головка – мікатор ІПМ за схемою аналогічна мікрокатору, але зі зменшеними габаритними розмірами і може використовуватись як відліковий пристрій в різних пристроях і приладах. Існують моделі мікаторів зі зменшеним вимірювальним зусиллям (до 50 Гс).

Головки вимірювальні важільно-пружинні типу ІРП (*мінікатори*) [7] призначені для вимірювання лінійних розмірів і відхилень форм у важкодоступних місцях. Відрізняються наявністю поворотного (на $\pm 30^\circ$) вимірювального наконечника бічної дії. Приєднувальний діаметр: 4 мм. Головка укомплектована трьома наконечниками різної довжини та діаметра сфери. Залежно від довжини наконечника мінікатори можуть мати поділ шкали 0,001 мм або 0,002 мм. Мінікатори використовують для вимірювань відхилень у важкодоступних місцях (з подовженим наконечником проводяться вимірювання з точністю 0,002 мм в діапазоні 0–16 мм; з коротким наконечником 0,001 мм в діапазоні 0–8 мм).

Недоліком розглянутих пружинних голівок є низька вібростійкість.

Зазначеного недоліку позбавлений створений на базі мікрокатора оптикатор (рисунок 3) [6]. У ньому збережений пружинний чутливий елемент мікрокатора, але замість вказівної стрілки на середній частині пружинної стрічки закріплено дзеркало (1), яке має дуже малу інерційність, що дозволяє значно збільшити вібростійкість приладу.

Пучок променів від джерела світла (6) падає на дзеркало (1), проходячи через конденсор (5), скляну пластину (4) із нанесеним на ній вказівним штрихом і об'єктив (2). Після відбиття від дзеркала промені потрапляють на скляну шкалу (3), на якій з'являється зображення вказівного штриха, нанесеного на пластинці (4). При переміщенні вимірювального стрижня (7) і розкручуванні пружинної стрічки по шкалі (3) зображення штрихового покажчика також переміщується.

Отже оптикатори об'єднують пружинний механізм з оптичною системою, а замість шкали зі стрілкою застосовується освітлювач та дзеркало. Таке поєднання розширює діапазон оптикаторів від (0–20) мм до (0–25) мм при абсолютних похибках від 0,0001 мм до 0,001 мм відповідно.

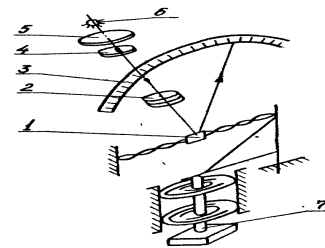


Рис. 3. Схема роботи оптикатора

Перевагою описаних приладів є простота конструкції і відсутність зовнішнього тертя в ланках механізму, що робить їх довговічними при високій точності вимірів.

Індикаторний інструмент за способом представлення результатів вимірювання поділяється на аналоговий, цифровий та комп'ютеризований.

Цифрове відображення (рисунок 4) гарантує безпомилкове зчитування значень вимірюваної величини, оскільки відпадає необхідність визначати візуально проміжні значення показань за шкалою по ноніусу. Аналогова індикація має переваги в тому, що забезпечує плавну зміну показань відповідно до розміру деталі. Аналоговий тип вимірювань найбільш застосовується для вимірювання в динамічному режимі, наприклад, коли потрібно визначити осьове і радіальне биття на тілах обертання чи поверхнях. Індикатори забезпечують точність вимірювань до 0,0025 мм. Цифрові індикатори мають багато додаткових функцій в порівнянні з механічними моделями, забезпечуючи відносні вимірювання та можливість передачі даних вимірювання на комп'ютер.



Рис. 4. Індикатор з цифровою індикацією

Останнім часом, найбільш застосовуваними залишаються індикатори з цифровою індикацією вимірюваної величини. Недоліком їх є відносна крихкість та необхідність заміни елементів живлення. Аналогова індикація індикаторів годинникового типу має перевагу в тому, що покази приладу плавно змінюються відповідно до зміни

контрольованого параметра у часі. Цей тип вимірювання зручно використовувати для динамічних вимірювань, наприклад, коли потрібно визначити осьове чи радіальне биття.

Висновки. Які ж індикатори кращі? При виборі індикатора слід орієнтуватися на співвідношення функціонування, якості та ціни. Під функціонуванням розуміють технічні характеристики індикатора, діапазон вимірювань, точність, спосіб кріплення на штативі на ін. Для прецизійних вимірювань при високій швидкості обертання валів підходять багатооборотні, пружинні і цифрові індикатори з точністю 0,0001 мм. А для вимірювань відхилень та лінійних розмірів габаритних виробів, для яких необхідний діапазон вимірювань вище 100 мм підійдуть пружинні індикатори (мікрокатори, мікатори та опикатори). Очевидно, що чим менша абсолютна похибка інструменту, тим менший діапазон його вимірювань. Також важливо розуміти, що точність інструмента з мінімальним тертям в перетворювачі (багатооборотні та пружинні індикатори) вища, ніж у звичайних часових індикаторах, але і їх конструкція складніша, а відповідно, надійність менша, а вартість вища. Наприклад, похибка індикатора часового типу 3%–5% вважається найвищою, але строк служби у них найбільший. Також слід зазначити, що вартість індикаторів залежить не тільки від технічних характеристик, але й від виробника. Відомі компанії, такі як Mitutoyo (Японія) або Mahr (Німеччина) вже більш як півстоліття виробляють високоякісне вимірювальне обладнання, піднімаючи планку іншим компаніям, весь час удосконалюють та розширюють функції індикаторів. Ціни на їх продукцію відповідні. Тому вибір за вами, але необхідно пам'ятати, що вибір засобів вимірювання без врахування розмірів деталі або виробу, методів та умов проведення вимірювань, якості (класу точності) вимірюваної продукції, допустимої похибки засобу призводить до небажаних наслідків.

Список літератури:

1. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / Львів, видавництво «Бескид Біт» 2003.
2. Індикатор годинникового типу. URL: <https://buklib.net/books/36002/>.
3. Важільно-зубчасті індикатори. URL: <https://storgom.ua/indikator...>
4. Прилади для вимірювання абсолютних лінійних деформацій URL <https://www.bing.com/search>
5. О.Г.Ушенко, Д.І.Житарюк Техніка лінійних вимірювань: метрологія та поліграфія .Навчальний посібник. 2021 Чернівці
6. Пружинні та пружинно-оптичні прилади. URL: studfile.net <https://studfile.net/preview>
7. Мікрокатори ІПІ і мікатори ІПП. URL: <http://standart-m.com.ua/>.
8. Вимірювальні головки. URL: <https://ni/biz/ua>
9. Адаменко Ю.І., Майданюк С.В., Мініцька Н.В., Плівак О.А. Лінійні та кутові вимірювання. URL: kpi.uahttps://ela.kpi.ua/bitstream

10. Розміри, відхилення розмірів, допуски, якості точності. URL: <https://studfile.net/preview/5398872/page:2/>
11. ДСТУ ГОСТ 577:2009 Індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Технічні умови.

Pavlenko V.Ya. INDICATION TOOL AS A GUARANTEE OF QUALITY IN THE PRACTICE OF TECHNICAL CONTROL. METHODS AND MEANS OF MEASUREMENTS

The quality and, accordingly, the competitiveness of products are largely determined by the state of measuring equipment at the enterprise. The control of linear quantities is the most widespread field of measurements in science and technology – it is a component of technical measurements thanks to which the dimensions of parts and products or their individual elements are determined. Measuring equipment is an integral part of any production, because, depending on the specifics of production and design documentation, measurements are carried out in different ranges of values and with different accuracy. The article examines the features of indicator measuring tools, the problems of choosing tools and methods for controlling the geometric dimensions of parts and assembly units of accuracy classes (0 – 12) of qualities, as well as measurements in hard-to-reach places (outer and inner diameters, hole depths, thread parameters, gear couplings, parallelism of planes, etc.). It is stated that when choosing a measuring instrument, the size of the part or product, the method and conditions of measurement, the quality (accuracy class) of the measured product, and the permissible error of the measuring instrument are taken into account. The types of indicators are analyzed, each area of their application is explained, the expediency of using one or another type of indicator is substantiated, recommendations are given for choosing a measuring instrument depending on the conditions of the design documentation, the technological process and the design of the product.

Key words: measuring tools, measuring instrument, control methods, indicators, measurement error.