

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА ІНЖИНІРИНГУ З ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

## **ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ ТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
за спеціальністю G11 Машинобудування денної та заочної форм  
здобуття вищої освіти

#### **РЕКОМЕНДОВАНО**

на засіданні кафедри металургійних  
технологій  
(протокол № 13 від 15.04.2026 р.)

#### **ПОГОДЖЕНО**

на засіданні  
Науково-методичної ради Державного  
університету економіки і технологій  
(протокол № 12 від 19.05.2026 р.)

Кривий Ріг  
2026 р.

Технічні вимірювання: конспект лекцій та самостійної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю G11 Машинобудування денної та заочної форм здобуття вищої освіти / уклад. Г. ЗАЙЦЕВ. Кривий Ріг : ДУЕТ, 2026. 68 с.

Укладач:	Геннадій ЗАЙЦЕВ	асистент кафедри інжинірингу з галузевого машинобудування, к.т.н.
Рецензент:	Володимир ВЕЛІТЧЕНКО	доцент кафедри інжинірингу з галузевого машинобудування, к.т.н. доцент

Відповідальний за випуск: Володимир ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, завідувач кафедри  
інжинірингу з галузевого машинобудування, д.т.н.,  
професор

Конспект лекцій та самостійної роботи з освітнього компонента «Технічні вимірювання» призначений для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю G11 Машинобудування денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Конспект розроблено відповідно до навчального плану та силабусу освітнього компонента. У конспекті систематизовано навчальний матеріал, який охоплює як лекційну частину курсу, так і самостійну. Після кожної теми подано питання для самоконтролю, що сприяють закріпленню знань. Також наведено перелік рекомендованої та використаної літератури, включаючи сучасні нормативні документи та стандарти у сфері технічних вимірювань.

© Геннадій ЗАЙЦЕВ

## ЗМІСТ

<b>ТЕМА 1 ВСТУП. ОСНОВИ ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ .....</b>	<b>4</b>
<b>ТЕМА 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ.....</b>	<b>18</b>
<b>ТЕМА 3 МІРИ .....</b>	<b>26</b>
<b>ТЕМА 4 ШТАНГЕНІНСТРУМЕНТ.....</b>	<b>34</b>
<b>ТЕМА 5 МІКРОМЕТРИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ .....</b>	<b>42</b>
<b>ТЕМА 6 ВАЖІЛЬНО–МЕХАНІЧНІ ПРИЛАДИ.....</b>	<b>52</b>
<b>ТЕМА 7 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНШИХ НАЙБІЛЬШ ВИКОРИСТОВУВАНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ. СУЧАСНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ЗАСОБИ .....</b>	<b>57</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>66</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>67</b>

# ТЕМА 1 ВСТУП. ОСНОВИ ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

## Основні питання теми

Вступ.

Основні положення, терміни, визначення.

Значення технічних вимірювань у забезпеченні якості машин.

Класифікація методів і засобів вимірювань.

Похибки засобів вимірювань, їх класифікація і причини виникнення.

Метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки.

Вибір засобів вимірювання.

Методи підвищення точності вимірювань.

## Вступ

**Мета освітнього компонента** – надання здобувачу необхідних знань, практичних вмінь та навичок відповідно стандарту та освітньо-професійної програми підготовки бакалавра за спеціальністю G11 Машинобудування, спеціалізацією G11.03 Технологічні машини та обладнання, стосовно основ технічних вимірювань, методів та засобів вимірювання фізичних величин.

**Завданням освітньої компоненти** є оволодіння здобувачами теоретичними та практичними основами технічних вимірювань, придбання навиків вибору методів та засобів для вимірювання, опрацювання і аналізу результатів вимірювання та методів підвищення точності вимірювання, вміння користуватися нормативною документацією стосовно вибору та застосування вимірювальних засобів.

Відповідно стандарту та освітньо-професійної програми підготовки бакалавра за спеціальністю G11 Машинобудування, спеціалізацією G11.03 Технологічні машини та обладнання, здобувач повинен оволодіти наступними компетентностями та результатами навчання:

### **загальні компетентності:**

- здатність до абстрактного мислення.
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- здатність планувати та управляти часом.
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

### **спеціальні (фахові) компетентності**

- здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

### **програмні результати навчання**

- знання і розуміння засад технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі галузевого машинобудування відповідної галузі.
- відшуковувати потрібну наукову і технічну інформацію в доступних джерелах, зокрема, іноземною мовою, аналізувати і оцінювати її.
- обирати і застосовувати потрібне обладнання, інструменти та методи.

- застосовувати засоби технічного контролю для оцінювання параметрів об'єктів і процесів у галузевому машинобудуванні.

### **Зв'язок освітньої компоненти з іншими освітніми компонентами**

Даний освітній компонент входить до обов'язкових компонент та базується на комплексі знань отриманих при вивченні наступних освітніх компонент: «Комп'ютерний інжиніринг в галузі», «Спеціальні розділи фізики», «Взаємозамінність та стандартизація».

Знання, уміння і навички отримані після закінчення вивчення даного освітнього компонента є необхідними для опанування подальших освітніх компонент таких як: «Опір матеріалів», «Деталі машин», «Технологічні основи машинобудування», «Застосування металообробних верстатів в гірничо-металургійній галузі», «Складання металургійних машин та агрегатів», «Експлуатація та обслуговування машин», а також при виконанні, кваліфікаційної роботи бакалавра, подальший науковій та виробничій діяльності.

### **Основні положення, терміни, визначення**

Науковою основою технічних вимірювань є **метрологія** (від грецьких метром – міра і логос – вчення) – це наука про вимірювання, методи та засоби, за допомогою яких досягається потрібна точність. Шлях від незнання до знання, від неповного, неточного знання до більш повного, більш точного лежить через отримання кількісної інформації про об'єкти, що вивчаються. Отримують кількісну інформацію шляхом вимірювань. Metroлогія велика і одна з найдавніших природничих наук і дуже важлива галузь людської діяльності. Вона включає як теоретичні, так і практичні аспекти вимірювань у всіх галузях науки і техніки. Д.І. Менделєєв в одній з своїх праць висловився так: « ... наука починається з того місця, звідки починають вимірювати». Терміни та визначення з метрології встановлені ДСТУ 2681–94.

**Вимірювання** – це сукупність дій, що виконуються за допомогою засобів вимірювання з метою знаходження числового значення даної величини, яке виражається в прийнятих одиницях. Вимірювання – невід'ємна частина процесу пізнання.

**Результатом вимірювання** є – чисельна величина, що виражена у відповідних одиницях.

**Розмір** – є кількісною характеристикою вимірюваної величини, а якісною характеристикою її є **розмірність**.

*Отримання інформації про розмір – це і є вимірювання.*

**Контроль** – окремий випадок вимірювання, при якому встановлюють відповідність значень вимірюваної фізичної величини допустимим граничним значенням.

У машинобудуванні майже 90% всіх вимірів складають вимірювання лінійних і кутових розмірів.

## Значення технічних вимірювань у забезпеченні якості машин

Для забезпечення взаємозамінності у машинобудуванні, крім досягнення високої точності виготовлення деталей, потрібно забезпечити і високу точність їх вимірювання. При недостатній точності вимірювання розмірів частина придатної продукції може бути забракована і разом з тим частина браку може бути визнана придатною продукцією.

Підвищення якості машин зумовлюється прискоренням темпів науково технічного прогресу, підвищенням складності техніки і технології, збільшенням вимог до точності, надійності і довговічності машин. Визначну роль у підвищенні якості машин відіграє вимірювальна техніка. Зростання продуктивності складальних операцій і поліпшення якості виготовлення машин потребують невпинного підвищення точності засобів вимірювань, використання прецизійних вимірювальних приладів в умовах цеху, на робочих місцях, що зумовлює підвищення їх надійності та спрощеної процедури використання.

### Класифікація методів і засобів вимірювань

Під **методом вимірювання** слід розуміти сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципу вимірювань для створення вимірювальної інформації.

При виконанні технічних вимірювань розрізняють кілька методів вимірювання.

*За співвідношенням показання приладу і значення вимірюваного розміру розрізняють:*

**абсолютний метод**, при якому абсолютне значення вимірюваної величини визначається безпосередньо за шкалою вимірювального засобу, наприклад, вимірювання діаметра вала штангенциркулем чи мікрометром;

**відносний метод**, при якому визначають тільки відхилення значення вимірюваної величини від установленної чи міри зразка, а потім обчислюють абсолютне значення вимірюваної величини. Наприклад, вимір розміру деталі індикатором зі стійкою після його настроювання по кінцевих мірах довжини.

*За визначенням шуканої величини вимірюваного об'єкта розрізняють:*

**прямий** – це метод, при якому значення вимірюваної величини встановлюють безпосередньо за показанням приладу, наприклад, вимір діаметра деталі штангенциркулем;

**не прямий метод** – визначення значення шуканої величини за результатами вимірів інших величин. Наприклад, довжину окружності простіше визначити, вимірявши діаметр і через нього обчислити довжину окружності.

*За наявністю контакту з вимірюваною деталлю розрізняють:*

**контактний метод**, при якому вимірювання виконується безпосереднім дотиком вимірювальних поверхонь приладу або інструменту до поверхні деталі. Наприклад, вимірювання штангенциркулем, мікрометром;

**безконтактний метод**, при якому відсутній контакт вимірювальних поверхонь приладу або інструмента і деталі. Наприклад, вимірювання на інструментальному мікроскопі, на якому вимірюють не саму деталь, а її зображення (тінь) на екрані.

*За кількістю елементів, що перевіряються, розрізняють:*

**диференціальний (поелементний) метод**, при якому кожен елемент (параметр) деталі вимірюється окремо. Наприклад, вимірювання окремо зовнішнього і внутрішнього діаметрів і товщин шліців шліцьового вала;

**комплексний метод**, при якому одночасно вимірюються (контролюються) декілька параметрів (розмірів) виробу. Наприклад, при контролюванні різьби комплексними різбовими калібрами одночасно контролюються відхилення середнього діаметра, кроку і кута профілю різьби.

## **Засоби вимірювань**

**Засоби вимірювань** – засоби вимірювальної техніки, які реалізують процедуру вимірювання.

**Засіб вимірювальної техніки** – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики.

Засоби вимірювань, що застосовуються у технічних вимірюваннях, класифікуються як:

- еталони одиниць фізичних величин;
- міри;
- калібри;
- універсальні засоби вимірювань;
- засоби вимірювання спеціального призначення.

**Еталони одиниць фізичних величин** – засіб, офіційно затверджений еталоном для відтворення одиниць з найвищою довжиною точності (еталон довжини, кута, часу тощо).

Еталони бувають:

*первинний* – еталон, що забезпечує відтворення та (або) зберігання одиниці фізичної величини з найвищою в країні (порівняно з іншими еталонами тієї ж одиниці) точністю. Прикладом точності еталонів може бути еталон часу, похибка якого за 30 тис. років не перевищить 1с;

*спеціальний еталон* – еталон, що забезпечує відтворення та (або) зберігання одиниці в особливих умовах і замінює в цих умовах первинний еталон;

*державний еталон* – первинний або спеціальний еталон, затверджений офіційно як державний;

*вторинний еталон* – еталон, якому передається розмір одиниці фізичної величини від первинного або спеціального еталона;

*еталон–копія* – вторинний еталон, який призначається для передавання розміру фізичної величини робочим еталонам (зразковим засобам вимірювальної техніки);

*робочий еталон* – еталон, призначений для передачі розміру фізичної величини зразковим засобам вимірювальної техніки. а в окремих випадках – робочим засобам вимірювальної техніки.

Еталонна база створюється та удосконалюється відповідно до державних науково–технічних програм, які розробляються Держстандартом України.

**Міри** – засіб, призначений для відтворення фізичних величин заданого розміру:

– *однозначні міри* (наприклад, кінцеві міри довжини, кутові міри тощо);

– *багатозначні міри* (наприклад, рулетки, штрихові міри, масштабні лінійки тощо).

**Калібри** – безшкальний вимірювальний інструмент, призначений для перевірки відхилень від заданих розмірів форми або взаємного розміщення поверхонь чи осей. Наприклад, гладкі граничні калібри пробки і скоби призначені для контролювання циліндричних поверхонь деталей, різьбові калібри – кільця, пробки, скоби – призначені для контролювання параметрів різьб.

**Універсальні засоби вимірювання** служать для вимірювання в різних галузях техніки. Поділяються за принципом дії і за конструктивними ознаками на групи: прості засоби вимірювання; інструмент штриховий розсувний (штангенінструмент); мікрометричний: механічний (прилади); оптико–механічний (прилади); оптичний (прилади); інтерференційний (прилади); пневматичний; електричний; фотоелектричний; лазерний тощо.

**Засоби вимірювання спеціального призначення** (інструмент або прилади) служать для вимірювання у певних галузях техніки і мають обмежене застосування, а саме: форм і взаємного розташування поверхонь; шорсткості і хвилястості поверхонь; різьби; конусів і кутів; зубчастих коліс; деталей шпонкових і шліцьових з'єднань тощо.

## **Похибки засобів вимірювань, їх класифікація і причини виникнення**

**Похибки вимірювання** являють собою відхилення результату вимірювання від умовно істинного значення вимірювальної величини.

На результат вимірювання (відлік) впливає множина факторів, які об'єднують у групи, серед яких найважливішими є:

- об'єкт вимірювання (що міряють),
- суб'єкт вимірювання (хто міряє),
- спосіб вимірювання (як міряють),
- засіб вимірювання (чим міряють),
- умови вимірювання (де міряють).

Оскільки врахувати всю множину випадкових і не випадкових факторів неможливо, результат їх сумісного впливу непередбачуваний, і показники вимірювального приладу будуть відмінними від істинного розміру об'єкта вимірювання. Ці відхилення визначають похибки вимірювальних засобів.

Залежно від форми числового вираження розрізняють **абсолютну і відносну** похибки вимірювання.

**Абсолютна похибка** вимірювального приладу  $\Delta_n$  – це різниця між показниками приладу та істинним (дійсним) значенням вимірюваної величини. Дійсне значення звичайно встановлюють шляхом вимірювання зразковим приладом

$$\Delta_n = x_n - x_d$$

де  $x_n$  – показники приладу;  $x_d$  – дійсне значення вимірюваної величини.

Дійсне значення  $x_d$  абсолютно точно визначити неможливо, оскільки не існує таких вимірювальних засобів, які зовсім не мають похибок. Тому на практиці для визначення похибок вимірювання  $\Delta_n$  замість дійсного значення  $x_d$  вимірюваної величини приймають умовно дійсне значення одержане при вимірюванні цієї ж величини (розміру) з точністю, яка в декілька разів перевищує дану точність вимірювання.

Таким чином. **умовно дійсне значення**  $x_d$  – значення, одержане за допомогою зразкових засобів вимірювання для даного робочого засобу.

Інколи для оцінки точності вимірювань і для порівняння різних вимірювальних засобів за точністю, застосовують поняття відносної похибки вимірювання.

**Відносна похибка** вимірювального приладу  $\delta_n$  – це відношення абсолютної похибки вимірювального приладу до істинного (дійсного) значення вимірюваної величини. Відносна похибка засобу вимірювання виражається у відсотках

$$\delta_n = \pm \frac{\Delta_n}{x_n} \cdot 100\% .$$

При вимірюванні деталей, як і при їх виготовленні, похибки поділяються на **грубі і немінучі**.

**Грубими похибками (або промахами)** називаються такі похибки вимірювання, які значно перевищують передбачувані похибки при заданих умовах вимірювання. Грубі похибки виявляють при повторному вимірюванні одного і того ж розміру, їх не беруть до уваги і виключають з результатів вимірювання. Наприклад, при вимірюванні розміру з номінальним його значенням 50 мм одержані такі значення:  $d_1 = 50,05$  мм;  $d_2 = 50,03$ ;  $d_3 = 50,2$  мм. Похибки вимірювання:

$$\Delta_1 = 0,05 \text{ мм}; \Delta_2 = 0,03 \text{ мм}; \Delta_3 = 0,2 \text{ мм}.$$

Отже. похибка  $\Delta_3$  є грубою похибкою (промахом) при вимірюванні даного розміру, оскільки вона значно відрізняється від похибок перших двох результатів вимірювань. Таким чином розмір  $d_3$  слід виміряти повторно.

Причинами грубих похибок (промахів) можуть бути неправильне використання вимірювальних засобів, неправильний відлік по шкалах вимірювального засобу, помилки при підрахунках або недостатність досвіду чи неуважність оператора (робітника. контролера).

**Немінучі похибки** поділяються на **систематичні і випадкові**.

**Систематична похибка вимірювання** – складова похибки, що залишається сталою або прогнозовано змінюється в ряді вимірювань тієї ж величини.

Для виявлення і виключення з процесу вимірювання систематичних похибок здійснюють перевірку засобів вимірювання в органах державної чи галузевої метрологічних служб, виконують повторні вимірювання більш точними вимірювальними засобами, застосовують особливі методи вимірювання, тощо.

Складовими систематичної похибки вимірювання можуть бути:

**інструментальна похибка вимірювання** – складова похибки вимірювання, зумовлена властивостями засобів вимірювальної техніки (похибками використовуваних засобів вимірювання);

**методична похибка вимірювання** – складова похибки вимірювання, що зумовлена неадекватністю об'єкта вимірювання та його моделі, прийнятою при вимірюванні. Методична похибка виникає через недосконалість методу вимірювання або неправильно вибраного методу для даного вимірювання;

**суб'єктивна похибка вимірювання** – зумовлена індивідуальними особливостями оператора (робітника, контролера), що виконує вимірювання.

Вплив систематичних похибок на результати вимірювання може бути виключений шляхом введення відповідних поправок. Прикладом систематичних похибок можуть бути похибки вимірювального засобу, зумовлені неправильним градуванням шкали, неправильним налагодженням вимірювального засобу на нуль, похибкою мір, за якими налагоджують вимірювальні засоби, тощо.

**Випадкова похибка вимірювання** – складова похибки, що не прогнозовано змінюється в ряді вимірювань тієї ж величини (розміру).

Випадкові похибки вимірювання не є сталими за величиною і знаком.

Вони складаються з окремих похибок вимірювального засобу і методу вимірювання, які сумуються як випадкові величини. Їх не можна наперед передбачити, враховувати чи виключити з процесу вимірювання. Випадкові похибки вимірювання, як і випадкові похибки виготовлення, підлягають законові нормального розподілу випадкових величин (законові Гауса).

Прикладом випадкових похибок вимірювання можуть бути похибки округлення результатів вимірювання, похибки, що виникають внаслідок розсіювання (варіації) показів вимірювального засобу, тощо. Від систематичних похибок залежить правильність вимірювань, від випадкових похибок – точність вимірювань, а від грубих похибок (промахів) – придатність вимірювань.

## **Метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки**

Кожний універсальний чи спеціальний засіб вимірювальної техніки характеризується призначенням, особливостями конструкції, принципом дії і метрологічними характеристиками.

**Метрологічними показниками засобів вимірювання** є їх характеристики, які свідчать про придатність цих засобів до вимірювання у відомому інтервалі (діапазоні) з відомою точністю.

Основні метрологічні показники засобів вимірювання.

**Показ** (засобу вимірювань) – значення вимірюваної величини, створене за допомогою засобу вимірювань та, подане сигналом вимірювальної інформації.

**Сигнал вимірювальної інформації** – сигнал, який показує вимірювальну інформацію на виході засобу вимірювань.

**Відлік** – число, відлічене по відліковому пристрою вимірювального засобу, або одержане підрахунком послідовних позначок або сигналів.

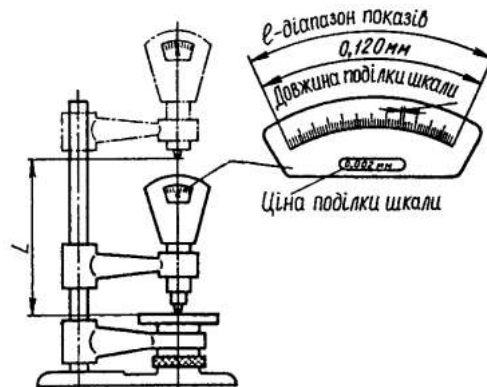
**Межі вимірювання** – найбільша і найменша величини, які можуть бути виміряні даним вимірювальним засобом. Наприклад, штангенінструмент має межі вимірювання 0... 125 мм, 0...200 мм, 0...320 мм, мікрометричний інструмент має межі вимірювання 0...25 мм, 25...50 мм..50...75 мм та ін.

Межі вимірювання вимірювальних засобів, призначених для відносних вимірювань, залежать не лише від меж вимірювання за шкалами цих засобів, але й від розмірів стояків, в яких вони закріплюються (рис. 1.1). Тому у деяких вимірювальних приладах розрізняють межі вимірювання за шкалою і межі вимірювання приладу в цілому, наприклад, у важільного мікрометра, важільної та індикаторної скоб.

Відповідно до цього, у вимірювальних приладах розрізняють **діапазон показів** (засобу вимірювань) і **діапазон вимірювань**.

**Діапазон показів** (засобу вимірювань)  $l$  (рис. 1.1) – інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений початковими та кінцевими значеннями.

**Примітка.** Початковим значенням вимірюваної величини називають найменше в діапазоні показів її значення, а *кінцевим* – її найбільше значення.



**Рис. 1.1.** Метрологічні характеристики вимірювального засобу

**Діапазон вимірювань** – інтервал значень вимірюваної величини, в межах якого прономовані похибки засобу вимірювань. Для вимірювального засобу, наведеного на рис. 1.1 діапазон вимірювань складається з діапазону переміщення вимірювальної головки  $L$  і діапазону показів  $l$  за шкалою приладу, тобто діапазон вимірювання приладу дорівнює  $L + l$ .

**Шкала** (аналогового вимірювального приладу) – частина показувального пристрою у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом із пов'язаною з нею певною послідовністю чисел.

**Позначка шкали** – риска, або інший знак на шкалі, що відповідає одному або декільком значенням вимірюваної величини.

**Поділка шкали** – частина шкали між двома сусідніми позначками шкали.

**Довжина (інтервал) поділки** – відстань між осями (або центрами) двох сусідніх позначок шкали, яка виміряна вздовж лінії, що проходить через середини

найкоротших позначок шкали. Наприклад, у штангенінструмента довжина поділок основної шкали становить 1 мм.

**Ціна поділки шкали** (аналогового вимірювального приладу) – різниця значень вимірюваної величини, що відповідають двом сусіднім позначкам шкали (рис. 1.1).

**Вимірювальне зусилля** – зусилля, що виникає в процесі вимірювання при контакті вимірювальних поверхонь вимірювального засобу з поверхнею вимірюваної деталі. Його величина має бути такою, щоб не викликати деформації вимірювальної деталі або деталей вимірювального засобу. Наприклад, у вимірювальних засобах невисокої точності (штангенінструменті) вимірювальне зусилля створюється оператором (робітником);

вимірювальне зусилля у мікрометричному інструменті визначається жорсткістю пружини тріскачки і за нормою складає  $7 \pm 2$  Н.

**Абсолютна похибка засобу вимірювань** – різниця між показами засобу вимірювань та істинним значенням вимірювальної величини.

**Відносна похибка засобу вимірювань** – відношення абсолютної похибки засобу вимірювань до істинного (дійсного) значення вимірюваної величини.

**Межа допустимої похибки засобу вимірювань** – найбільше значення, без урахування знаку, похибки засобу вимірювань, за яким цей засіб ще може бути визнаний придатним до застосування.

Границю допустимої похибки вказують в атестаті вимірювального засобу. Наприклад, для гладкого мікрометра МК при вимірюванні розмірів від 1 до 30 мм межа допустимої похибки становить  $\pm 5,5$  мкм.

**Поріг чутливості засобу вимірювань** – найменше значення вимірюваної величини, яка може бути виявлена засобом вимірювань.

Якщо підставити під кінець вимірювального стрижня 1 (рис.1.2) об'єкт вимірювання 2, то в початковий момент, не зважаючи на переміщення стрижня вгору, стрілочка не буде рухатися. Так буде до того часу, доки кінець стрижня 1 не переміститься вгору на розмір  $\Delta$ , щоб вибрати зазори в системі передачі вимірювального засобу. Розмір  $\Delta$  і буде характеризувати межу (поріг) чутливості вимірювального засобу.

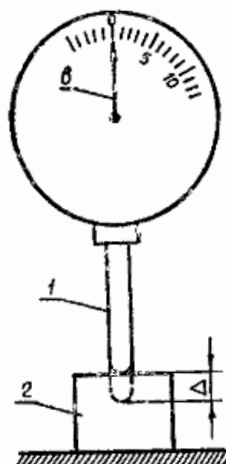


Рис. 1.2. Поріг чутливості вимірювального засобу

**Точність вимірювального засобу** – характеристика засобу вимірювання, яка відображає близькість його показів до істинного значення вимірюваної величини (близькість до нуля його похибок). Точність вимірювального засобу визначається межею його допустимої похибки і характеризується класом точності.

**Клас точності вимірювального засобу** – узагальнена характеристика засобу вимірювань, що визначається границями його допустимих основної і додаткової похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність, значення яких регламентується. Клас точності засобам вимірювання регламентуються відповідно до ДСТУ OIML R 34:2014.

Крім похибки вимірювального засобу, є ще дещо ширше поняття – **сумарна похибка вимірювання**, або **сумарна похибка методу вимірювання**. Вона складається з похибок мір, за якими провадили налагодження вимірювального засобу, з похибок, викликаних відхиленнями температури засобу вимірювання і вимірюваної деталі від нормальної (+ 20 °C), похибок, пов'язаних з невідповідністю вимірювального зусилля, тощо.

Вплив зазначених похибок визначає точність вимірювання.

**Точність вимірювання** – якість результатів вимірювання, що відображає наближення до нуля похибок результатів вимірювання.

**Результат вимірювання** – значення фізичної величини, знайдене шляхом її вимірювання.

Для підвищення точності вимірювання потрібно вносити поправки на покази вимірювального засобу.

**Поправка** – значення величини, що алгебрично (з урахуванням знаку) додається до результату вимірювання з метою вилучення систематичної похибки. Поправка за абсолютною величиною дорівнює похибці, взятій з протилежним знаком.

## **Вибір засобів вимірювання**

У сучасному машинобудівному виробництві найбільшу частину становлять геометричні параметри деталей. Контроль їх в процесі виробництва є обов'язковим. Витрати на виконання контрольних операцій істотно впливають на собівартість виробів машинобудування, а точність їх оцінки визначає якість виробів, що випускаються. Після виготовлення деталей їх розміри піддаються вимірюванню з метою встановлення їх дійсних значень. Для вимірювання розмірів деталей промисловістю випускається велика різноманітність вимірювальних засобів, які мають різні галузі застосування і різну точність вимірювання, яка визначається граничною похибкою вимірювального засобу. Тому важливо в кожному конкретному випадку вибрати відповідний вимірювальний засіб для вимірювання конкретного розміру деталі. Правильність вибору засобів вимірювання повинен вміти оцінювати конструктор, технолог і метролог.

Мабуть, неможливо запропонувати єдину методику вибору засобів вимірювань.

Основні принципи вибору на підставі накопиченого досвіду засобів вимірювань у промисловості такі:

- точність вимірювального засобу повинна бути достатньо високою порівняно з точністю вимірюваного розміру виробу;

- трудомісткість вимірювань і їхня вартість мають бути якомога нижчі, тобто такі, що забезпечують найвищу продуктивність праці та економічність.

Неправильно вибраний вимірювальний засіб може стати причиною похибок вимірювання це призводить до того, що частину придатної продукції бракують (помилка першого типу); водночас із тієї ж причини іншу частину фактично непридатної продукції приймають як придатну (помилка другого типу). Зайва точність вимірювань, як правило, пов'язана з надмірним зростанням трудомісткості та вартості контролю якості продукції, а отже, веде до подорожчання виробництва й обмеження випуску продукції.

На вибір засобів вимірювань впливає велика кількість факторів, які необхідно враховувати.

При виборі засобів вимірювань (ЗВ) враховують сукупність організаційно-технічних факторів, які залежать від специфіки виробництва (тип виробництва, традиційна форма контролю з урахуванням наявності вимірювальних засобів, стабільність техпроцесу, забезпечення повної або груповий взаємозамінності і т. п.);

метрологічних (ціна поділки, похибка, межі вимірювань, вимірювальне зусилля, похибка і клас точності), які необхідно узгоджувати з контрольованими параметрами виробу, експлуатаційних та економічних показників, до яких відносяться: масовість (повторюваність вимірюваних розмірів) і доступність їх для контролю; вартість і надійність ЗВ; метод вимірювання; час, що витрачається на настроювання й процес вимірювання; маса, габаритні розміри, робоче навантаження; твердість об'єкта контролю, жорсткість його поверхні; режим роботи тощо.

Залежно від характеру виробництва (масового, крупносерійного, серійного і т. ін.) вибирають ті засоби вимірювань, застосування яких економічно доцільне і забезпечує необхідну продуктивність. Зазвичай ступінь механізації засобів і процесів вимірювання залежить від програми випуску контрольованих виробів. У масовому виробництві широко застосовують спеціальні та спеціалізовані контрольні-вимірювальні пристосування, автомати і напівавтомати. В одиничному (дослідному) виробництві використовують в основному універсальні вимірювальні прилади і вимірювальний інструмент. Заплановане широке застосування в контрольних операціях роботів, керованих ЕОМ.

Конструкція деталі, її габарити і вага значною мірою впливають на вибір засобів вимірювань. Так, у разі контролю важких деталей користуються переносними приладами, а легкі деталі вимірюють на стаціонарних. Мала жорсткість деталі обмежує значення вимірювального зусилля, а часом вимагає застосування безконтактних засобів вимірювань.

Найпростіший спосіб вибору засобів вимірювань заснований на тому, що точність засобів вимірювань має бути в кілька разів вища за точність виготовлення. Вимірювання параметрів деталей слід проводити засобами вимірювань із ціною поділки не більше 1/6 допуску на виготовлення.

Правила приймального контролю з урахуванням похибок визначає ДСТУ EN ISO 14253-1:2018.

Вибрані вимірювальні засоби вказують у картах технологічного процесу механообробки, складання, технічного контролю або в іншій технологічній документації.

## Методи підвищення точності вимірювань

Похибки вимірювань складаються з похибок вимірювальних засобів, зумовлених недосконалістю їх конструкції і відсутністю належних навичок щодо їх використання, а також з похибок, зумовлених умовами вимірювання.

Похибки засобів вимірювань при технічних вимірюваннях в багатьох випадках визначають і сумарну похибку методу вимірювання. Межа допустимої похибки вимірювального засобу визначає основну похибку засобу вимірювання, тобто похибку засобу вимірювання, що використовується у нормальних умовах. Вона зазначається у паспорті (атестаті) вимірювального засобу. За основною похибкою вимірювального засобу, знаючи допустиму похибку вимірювання даного розміру і його допуск (квалітет), добирають вимірювальний засіб для вимірювання даного розміру.

З метою усунення додаткових похибок і підвищення точності вимірювання, воно повинно виконуватися за нормальних умов.

**Нормальними умовами** застосування засобів вимірювальної техніки є умови, за яких впливові величини мають нормальні значення чи знаходяться в межах нормального інтервалу значень.

Примітка. **Впливовою величиною** є фізична величина, що впливає на результат вимірювання, але не є вимірюваною величиною.

Стандартом регламентовані нормальні значення основних параметрів середовища, що впливають на точність вимірювання:

- температура навколишнього середовища, °C	20
- атмосферний тиск, кПа (мм рт. ст.)	101,3 (760)
- відносна вологість повітря, % .....	58
- прискорення вільного падіння, м/с <sup>2</sup>	9,8

Температурний режим є одним з найважливіших елементів системи допусків і посадок, оскільки з ним пов'язаний висновок про придатність виробу з точки зору відповідності його розмірів розмірам, заданим кресленикам.

Похибка від невідповідності температурного режиму може бути однією з головних складових всієї похибки вимірювання. Температура 20°C з різним ступенем точності дотримується при точних вимірюваннях, наприклад, при градуванні і атестації мір, калібрів точних вимірювальних засобів.

Контролювання точності більшості деталей на виробництві провадиться в умовах нормального температурного режиму. При цьому дотримання температури 20°C не обов'язкове. Умови нормального температурного режиму такі:

- температура деталі і вимірювального засобу під час вимірювання повинна бути однаковою;
- коефіцієнти лінійного розширення матеріалу деталі і вимірювального засобу за можливістю повинні бути також однаковими.

Для підвищення точності вимірювань їх слід проводити в окремих спеціальних приміщеннях, в яких необхідно підтримувати сталу температуру в різні пори року.

Для зменшення похибок, що виникають від різниці коефіцієнтів лінійного (теплового) розширення  $\alpha$  потрібно застосовувати вимірювальні засоби з коефіцієнтами розширення, рівними коефіцієнту розширення виробу, тобто вимірювальний засіб і виріб (деталь) повинні бути виготовлені з однакового матеріалу.

Одним із засобів зменшення температурної похибки від різниці температур деталі і вимірювального засобу є вирівнювання їх температури. Для цього контрольовану деталь і вимірювальний засіб до початку вимірювань витримують в однакових температурних умовах протягом певного часу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

**Час витримки вимірюваної деталі і вимірювального засобу в робочому просторі, годин**

Маса об'єкта вимірювання, кг	Квалітети			
	01-0	1...5	6...8	9-10
До 10	6	4	3	2
Понад 10 до 50	14	8	6	4
Понад 50 до 200	24	14	10	7
Понад 200 до 500	36	20	16	12

Допустимі відхилення в процесі вимірювання температури об'єкта вимірювання і робочого простору від нормального значення наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

**Межі допустимого відхилення температури, °С, об'єкта вимірювання і робочого простору від нормального значення в процесі вимірювання**

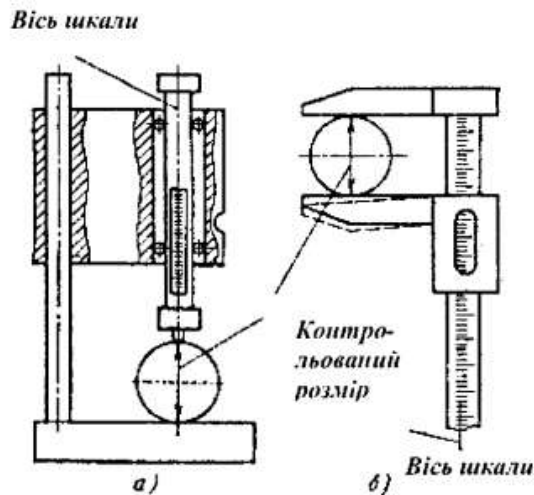
Інтервали розмірів, мм	Квалітети				
	01	0	1...5	6...8	9...16
Від 1 до 18	±0,8	±1,0	±1,5	±3	±4
Понад 18 до 50	±0,3	+0,5	±1,0	±2	±3
Понад 50	±0,2	±0,3	±0,5	±1	±2

Для підвищення точності вимірювань при виборі вимірювальних засобів слід намагатись застосовувати такі вимірювальні засоби, при вимірюванні якими на одній прямій лінії розташовувались осі шкали вимірювального засобу і контрольований розмір деталі, тобто лінія вимірювання повинна бути продовженням лінії шкали вимірювального засобу (принцип Аббе) (рис. 1.3, а). Якщо цей принцип не втримується (рис. 1.3, б), то перекошення і відхилення від паралельності напрямних вимірювального засобу викликають значні похибки вимірювання.

При вимірюванні конкретними вимірювальними засобами (особливо штангенінструментом), необхідно прикладати певне вимірювальне зусилля. Надто великі вимірювальні зусилля, прикладені до вимірювального засобу, можуть викликати відчутні похибки у вимірюванні, особливо тоді, коли вимірювальний засіб не має високої жорсткості і якщо не витриманий принцип Аббе.

Для того, щоб вимірювальне зусилля менше позначалося на результатах вимірювання, шкали вимірювальних засобів градууються при певних для кожного різновиду вимірювальних засобів вимірювальних зусиллях. При вимірюваннях не

рекомендується прикладати більші вимірювальні зусилля до вимірювальних засобів, ніж це передбачено. На деяких вимірювальних засобах (підвищеної точності) є спеціальні обмежувачі вимірювального зусилля, як наприклад, тріскачка у мікрометра, вимірювальне зусилля вимірювальних головок (наприклад, індикаторів годинникового типу) створюється спеціально для цього призначеною пружиною, вимірювальне зусилля калібрів обмежується зусиллям їх власної ваги.



**Рис. 1.3. Схеми вимірювання:**

а) – задовольняє принципу Аббе; б) – не задовольняє принципу Аббе.

Для підвищення точності вимірювань потрібно також застосовувати різні пристрої, що зменшують похибку вимірювання. Наприклад, якщо мікрометр МК або МП при вимірюванні розмірів знаходиться в руках оператора, його похибка становить при вимірюванні розмірів від 25 до 50 мм 10 мкм (0,01 мм), а в стояку – менше 5 мкм (0,005 мм), тобто точність вимірювання при застосуванні стояка зростає у 2 рази.

В процесі використання вимірювальні засоби спрацьовуються, відбувається дрейф засобів вимірювальної техніки, тобто повільна зміна з часом метрологічних їх характеристик, що призводить до зниження точності вимірювання ними. Тому важливим фактором підвищення точності вимірювань і вірогідності їх результатів є своєчасна повірка засобів вимірювання в органах державної чи галузевої (відомчої) метрологічних служб і застосування атестованих методик вимірювання.

На підвищення точності вимірювання також впливає точність засобів вимірювання, застосування сучасних технологій та конструкцій, підвищення надійності та зручності, спрощення процесу вимірювання тощо.

Займаючись методами підвищення точності вимірювання обов'язково необхідно враховувати економічну складову.

#### П и т а н н я д л я с а м о п е р е в і р к и

1. Що таке вимірювання та контроль і в чому полягає відмінність між ними?
2. Що таке метод вимірювання та які бувають методи вимірювання?
3. Що таке засоби вимірювальної техніки та які вони бувають?

4. Що таке похибки вимірювання та основні фактори, які на них впливають?
5. Які бувають похибки вимірювань?
6. Назвіть основні метрологічні показники засобів вимірювання.
7. Основні принципи вибору засобів вимірювань та фактори, що впливають на їх вибір.
8. Як підвищити точність вимірювань?

## ТЕМА 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ

### Основні питання теми

Види фізичних величин.

Система одиниць фізичних величин.

Розмірність та значення фізичної величини.

### Види фізичних величин

У науці, техніці і повсякденному життю людина має справу з різноманітними властивостями оточення нас фізичних об'єктів. Одна і та ж властивість може бути виявлена у багатьох об'єктів або бути власна тільки деяким з них. У зв'язку з цим виникла необхідність ідентифікувати властивості, присвоївши їм найменування (довжина, маса, об'єм). Кожен фізичний об'єкт може бути описаний за допомогою різних властивостей, властивих цьому об'єкту. **Властивість** – категорія якісна, виражає відмінність або спільність з іншими об'єктами. Будь-яка властивість може бути виміряна.

Для кількісного опису різних властивостей, процесів і фізичних тіл вводиться поняття величини. **Величина** – це властивість чого-небудь, яка може бути виділена серед інших властивостей і оцінена тим або іншим способом, у тому числі і кількісно. Величина не існує сама по собі, вона має місце, поки існує об'єкт з властивостями, вираженими цією величиною. Аналіз величин дозволяє розділити їх на два види: реальні і ідеальні (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Класифікація величин

**Ідеальні** величини відносяться до області математики, і метрологія як наука ними не займається, хоча і використовує в практиці обробки результатів вимірювання. Ідеальні величини можуть бути обчислені тим або іншим способом і за певних умов можуть не мати похибки обчислення, чого не можна сказати про величини реальні. **Реальні** величини діляться на фізичні і нефізичні.

**Фізична величина (ФВ)** може бути визначена як величина, властива матеріальним об'єктам (процесам, явищам), що вивчаються в природних (фізика, хімія) і технічних науках. До нефізичних відносяться величини, властиві громадським наукам – філософії, соціології, економіці, управління якістю, інформатиці тощо.

**Нефізичні величини**, для яких одиниця вимірювання в принципі не може бути введена, можуть бути оцінені з використанням експертних оцінок, бальної системи, набору тестів. Нефізичні величини, при оцінці яких неминучий вплив суб'єктивного чинника, так само, як і величини ідеальні, до області метрології не відносяться.

Метрологія як наука займається фізичними величинами. Фізичні величини розділяють на вимірювані і оцінювані.

**Вимірювані ФВ** виміряні технічними засобами вимірювання, виражені кількісно в певних одиницях вимірювання.

Фізичні величини, для яких не може бути введена одиниця вимірювання, можуть бути тільки **оцінені**. Оцінювання величини здійснюється за допомогою натуральних шкал, наприклад, твердість мінералів за шкалою Мооса, сила вітру за натуральною шкалою Бофорта.

Стандарт ДСТУ 2681–94 визначає, що **фізична величина** – це властивість, загальна в якісному відношенні для багатьох фізичних об'єктів, але в кількісному відношенні індивідуальна для кожного об'єкту.

Кожна ФВ має свої якісну і кількісну характеристики. **Якісна** характеристика визначає «рід» величини (маса, температура, щільність, довжина.), виражаючи відмінність або спільність з іншими величинами.

**Кількісна** характеристика визначає розмір вимірюваної величини (довжина конкретного предмета, щільність конкретного предмета). Наприклад, властивість «міцність» в якісному відношенні характеризує такі матеріали, як сталь, дерево, тканина, скло і багато інших, тоді як міра (кількісне значення) міцності – величина для кожного з них абсолютно різна.

### Система одиниць фізичних величин

Об'єктом вимірювання є фізичні величини, які прийнято ділити на основні і похідні.

**Основні величини** не залежать одна від одної, але вони можуть служити основою для встановлення зв'язків з іншими фізичними величинами: кг, м, с.

**Похідні величини** – фізичні величини, одиниці вимірювання яких складені з інших одиниць або вони можуть бути отримані за певною формулою, що показує залежність їх від інших фізичних величин:  $\text{кг/м}^3$ ;  $\text{м/с}^2$ ;  $\text{м}^2$ .

Сукупність основних і похідних одиниць ФВ, утворена відповідно до прийнятих принципів, називається **системою одиниць фізичних величин**.

Розвиток метричної системи мір (ухвалена 7 квітня 1795 року Національними зборами Франції. До її складу увійшли одиниці довжини, площі, об'єму та ваги, в основу яких було покладено дві одиниці: метр та кілограм) в різних галузях науки і техніки відбувався роз'єднано і привів до появи багатьох систем одиниць фізичних величин і великої кількості позасистемних одиниць.

Найбільш поширеними системи одиниць фізичних величин були:

**система СГС** – Перший Міжнародний конгрес електриків 1881 рік, до складу якої основними одиницями увійшли: сантиметр – одиниця довжини; грам – одиниця маси і секунда – одиниця часу;

**система МКГСС** – кінець XVIII ст., до складу якої основними одиницями увійшли: метр – одиниця довжини, кілограм–сила (кгс) – одиниця сили і секунда – одиниця часу. *Кілограм–сила* – це сила, яка надає масі в один кілограм прискорення  $9,80665 \text{ м/с}^2$  (нормальне прискорення вільного падіння). Система МКГСС набула значного поширення у механіці та техніці і неофіційно називалася «технічною»;

**система МТС** – була прийнята у 1919 році у Франції. Основними одиницями системи МТС є: одиниця довжини – метр, одиниця маси – тонна і одиниця часу – секунди.

Можливість усунення різноманіття вживаних одиниць з'явилася після розробки єдиної універсальної системи одиниць, що охоплює усі галузі науки і техніки. Ця система одиниць була прийнята XI Генеральною конференцією по заходах і вагах в 1960 р. і отримала найменування «Міжнародна система одиниць» – СІ (SI) (Система Інтернаціональна, фр. *Système International d'Unités*). Міжнародна організація по стандартизації видала міжнародні стандарти ISO 31:1992 «Величини і одиниці», ISO 1000:1992 «Одиниці СІ і рекомендації по використанню їх кратних і деяких інших одиниць».

Перевагами Міжнародної системи одиниць СІ слід визначити такі:

- універсальність, що забезпечує її використання в науці, техніці і господарстві;
- уніфікованість одиниць для всіх видів вимірювання. Так, замість кількох одиниць тиску (атм., мм. рт. ст., мм. вод. ст., бар та інші) у СІ визнана єдина одиниця тиску – паскаль (Па); замість кількох одиниць роботи й енергії ухвалена одиниця – джоуль (Дж);
- когерентність (узгодженість) системи: коефіцієнти пропорційності у фізичних рівняннях для визначення похідних величин дорівнюють одиниці;
- використання зручних для практичних вимірювань основних та похідних одиниць;
- чітке розмежування одиниць маси (кілограм) і сили (ньютон);
- спрощений запис рівнянь і формул завдяки відсутності перехідних коефіцієнтів переведення з однієї системи в іншу;
- позбавлення необхідності визначати всі системи одиниць;
- сприяння розвитку міждержавних науково–технічних та економічних зв'язків.

На теперішній час 115 держав приєдналися до Метричної конвенції, і в більшості країн система СІ визнана чинною законодавчо.

В Україні система СІ офіційно була прийнята в 1963 р. Як основні величини прийняті: метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, моль і кандела, які введені ДСТУ ISO 80000-1:2016 «Основні одиниці ФВ» (табл. 2.1). Похідні одиниці ФВ міжнародної системи одиниць, які регламентуються системою стандартів ДСТУ ISO 80000 згрупованими за галузями знань (табл. 2.1). Прикладами похідних одиниць, що мають спеціальну назву, є: герц – одиниця частоти; ват – одиниця потужності. Міжнародна система одиниць містить дві додаткові одиниці: для плоского кута – радіан і для тілесного кута – стерadian (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

**Міжнародна система одиниць СІ**

Величина		Одиниця	
Найменування	Позначення	Найменування	Позначення
<i>Основні одиниці</i>			
Довжина	L	метр	м
Маса	M	кілограм	кг
Час	T	секунда	с
Сила електричного струму	I	ампер	A
Термодинамічна температура	$\theta$	кельвін	K
Кількість речовини	N	моль	моль
Сила світла	J	кандела	кд
<i>Додаткові одиниці</i>			
Плоский кут	$\alpha, \beta, \gamma$	радіан	рад
Тілесний кут	$\Omega, \omega$	стерadian	ср
<i>Похідні одиниці</i>			
Частота	V, f	герц	Гц
Сила, вага	F, P, Q	Ньютон	Н
Тиск, механічна напруга, модуль пружності	P	Паскаль	Па
Енергія, робота, кількість теплоти	E, W	джоуль	Дж
Потужність, потік енергії	N, P	ват	Вт
Кількість електрики (електричний розряд)	Q, q	кулон	Кл
Електрична напруга, електричний потенціал, різниця електричних потенціалів, електрорушійна сила	U	вольт	В
Електрична місткість	C	фарад	Ф
Електричний опір	R, r	ом	Ом
Електрична провідність	G	сименс	См
Потік магнітної індукції, магнітний потік	$\Phi$	вебер	Вб
Щільність магнітного потоку, манітна індукція	B	тесла	Тл
Індуктивність, взаємна індуктивність	L	генрі	Гн
Світловий потік	$\Phi$	люмен	Лм
Освітленість	E	люкс	Лк
Активність нукліда в радіоактивному джерелі	Bq	Беккерель	Бк
Поглинена доза випромінювання, керма, показник поглиненої дози	Gy	грей	Гр

Визначення основних одиниць:

- **метр** [м], [m] дорівнює відстані, яку долає у вакуумі плоска електромагнітна хвиля за  $1/299792458$  долю секунди;
- **кілограм** [кг], [kg] дорівнює вазі води при температурі  $+4^{\circ}\text{C}$  (оскільки в цих умовах вода має максимальну густину), що вкладається в об'єм  $10^{-3} \text{ м}^3$ ;
- **секунда** [с], [s] шкала атомного часу (АТ) дорівнює  $9192631770$  періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атому цезію ( $\text{Cs}$ ) $133$ .
- **ампер** [А], [A] дорівнює силі постійного струму, який при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках безмежної довжини нехтовно малої площі поперечного перерізу, що знаходиться у вакуумі на відстані  $1\text{ м}$  один від одного, створює силу взаємодії у  $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ ;
- **кельвін** [К], [K] дорівнює  $1/273,16$  частині термодинамічної температури потрійної точки води;
- **моль** [моль], [mol] дорівнює кількості речовини, яка містить стільки ж структурних елементів, скільки міститься атомів вуглецю ( $\text{C}$ ) $12$  у масі  $0,012 \text{ кг}$ ;
- **кандела** [кд], [kd] дорівнює силі монохроматичного світла, що випромінюється на частоті  $540 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$  із силою  $1/683 \text{ Вт/ср}$ .

Визначення додаткових одиниць

- **радіан** [рад], [rad] дорівнює куту між двома радіусами кола, довжина дуги між якими дорівнює радіусу.
- **стерадіан** [ср], [sr] дорівнює тілесному куту з вершиною у центрі сфери, що вирізає на поверхні сфери площу, яка дорівнює площі квадрата із стороною в радіус сфери

Крім основних одиниць СІ є велика (близько 160) група похідних одиниць. Похідні одиниці СІ утворюються з основних, додаткових і раніше утворених похідних одиниць СІ за допомогою рівнянь зв'язку між фізичними величинами, в яких числові коефіцієнти дорівнюють одиниці.

Наприклад, для визначення похідної одиниці швидкості в системі СІ записують рівняння зв'язку між швидкістю  $v$  прямолінійного і рівномірного руху точки, довжиною  $l$  пройденого шляху і часом  $t$  руху точки:

$$v = l/t$$

Замість символів  $l$  і  $t$  підставляють їх одиниці  $1\text{ м}$  і  $1\text{ с}$  і отримують

$$v = l/t = 1 \text{ м}/1\text{ с} = 1 \text{ м/с}.$$

Це означає, що одиницею швидкості в СІ є метр за секунду.

Деякі похідні одиниці системи СІ надано найменування на честь відомих вчених, які пишуть з великої букви.

Наприклад, ампер – А; кулон – Кл; ньютон – Н; джоуль – Дж, тощо.

Для кожної фізичної величини встановлюється одна одиниця і система утворення кратних і часткових одиниць від неї за допомогою множників (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

**Множники і приставки для утворення десяткових кратних і часткових одиниць і їх найменувань**

Множник	Префікс	Позначення		Множник	Префікс	Позначення	
		укр.	міжн.			укр.	міжн.
$10^{24}$	йота	Й	Y	$10^{-1}$	деци	д	d
$10^{21}$	зета	ЗТ	Z	$10^{-2}$	санті	с	c
$10^{18}$	екса	Е (Э)	E	$10^{-3}$	мілі	м	m
$10^{15}$	пета	П	P	$10^{-6}$	мікро	мк	μ
$10^{12}$	тера	Т	T	$10^{-9}$	нано	н	n
$10^9$	гіга	Г	G	$10^{-12}$	піко	п	p
$10^6$	мега	М	M	$10^{-15}$	фемто	ф	f
$10^3$	кіло	к	k	$10^{-18}$	атто	а	a
$10^2$	гекто	г	h	$10^{-21}$	zepto	зп	z
10	дека	так	da	$10^{-24}$	йокто	й	y

**Кратна одиниця** ФВ в ціле число разів більше системної або позасистемної одиниці.

**Часткова одиниця** ФВ в ціле число разів менше системної або позасистемної одиниці.

**Системна одиниця** ФВ – одиниця, що входить в прийняту систему одиниць. Усі основні, похідні кратні і часткові одиниці є системними.

При утворенні кратних і часткових одиниць дотримуються певних правил:

1. Позначення приставки пишеться разом з позначенням одиниці, до якої вона приєднується.

2. Приставки можна приєднувати тільки до простих найменувань одиниці, які не містять приставок. Приєднання двох і більше приставок не дозволяється. Наприклад, замість найменування одиниці «мікромікрофарад» слід використовувати найменування «пікофарад».

3. Якщо одиниця, до якої вибирається приставка, утворена як добуток або відношення одиниць, приставку приєднують до найменування першої одиниці.

Наприклад, для одиниці паскаль-секунда на метр (Па·с/м) правильно писати: кілопаскаль-секунда на метр (кПа·с/м), неправильно: Па·кс/м.

Для ряду одиниць, отримавших широке поширення, приставка застосовується у другому сомножнику. Наприклад, Вт/см<sup>2</sup>, А/мм<sup>2</sup>.

4. Якщо одиниці піднесені в степінь, приставку приєднують до найменування вихідної одиниці.

Наприклад, приставку «кіло» для одиниці об'єму (м<sup>3</sup>) приєднують до слова «метр», в результаті утворюється кратна одиниця: кубічний кілометр (км<sup>3</sup>).

5. Вибір десятичної кратної або часткової одиниці від одиниці СІ або іншої одиниці диктується зручністю її використання.

Наприклад, немає необхідності користуватися одиницею см ( $10^{-2}$  м), якщо вимірюються розміри в сто разів менші ( $10^{-4}$  м)

В даному випадку більше підійдуть мкм ( $10^{-6}$  м) або мм ( $10^{-3}$  м). На практиці кратні і часткові одиниці вибирають таким чином, щоб числове значення вимірюваної величини знаходилось в межах від 0,1 до 1000.

При виборі мм переміщення в  $10^{-4}$  м отримує значення 0,1 мм, при виборі мкм – 100 мкм. Отже, обидві одиниці задовольняють прийнятим правилам. Якій одиниці віддати перевагу залежить від діапазону вимірювань, точності відліку показів та інших факторів.

В різних областях вимірювань склалися свої кратні і часткові одиниці, однак державний стандарт містить рекомендації по їх вибору і охоплює понад 100 фізичних величин.

Окрім одиниць ФВ, що входять в прийняті системи, існують позасистемні одиниці.

**Позасистемна одиниця** – це одиниця ФВ, що не входить ні в одну з прийнятих систем одиниць. Позасистемні одиниці по відношенню до одиниць СІ розділяють на чотири види:

– допустима нарівні з одиницями СІ, наприклад, одиниця маси – тонна; об'єму – літр; плоского кута – градус тощо;

– допустима до застосування в спеціальних областях, наприклад, одиниця довжини в астрономії – парсек, світловий рік; одиниця оптичної сили в оптиці – діоптрія тощо;

– тимчасово допустимі до застосування нарівні з одиницями СІ, наприклад, в морській навігації одиниця довжини – морська миля; у ювелірній справі одиниця маси – карат тощо. Ці одиниці повинні вилучатися із вживання відповідно до міжнародних угод;

– вилучені зі вживання, наприклад, одиниця потужності – кінська сила.

Прикладі співвідношення позасистемних одиниць з одиницями системи СІ наведені у додатку А.

### **Розмірність та значення фізичної величини**

**Розмірність** – якісна характеристика вимірюваної величини. Відображає зв'язок цієї величини з основними величинами і залежить від вибору останніх. Розмірність позначається символом *dim*, що походить від слова *dimension*, яке залежно від контексту може переводитися як розмір і як розмірність.

Розмірність основних ФВ позначається відповідними заголовними буквами, наприклад: для довжини  $dim l = L = [м, км, мм.];$

для маси  $dim M = M = [кг, гр, т];$

для часу  $dim t = T = [хв, с, година.].$

**Розмірність похідної ФВ ( $dim Q$ )** – це вираження у формі степінного многочлена, що відображає зв'язок цієї фізичної величини з основними фізичними величинами:

$$dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma};$$

де L, M, T – розмірність відповідних основних фізичних величин;  $\alpha, \beta, \gamma$  – цілі або дробові додатні або від'ємні дійсні числа.

Показник міри, в який зведена розмірність основної величини, називають **показником розмірності**. Якщо усі показники розмірності дорівнюють нулю, то таку величину називають безрозмірною. Показник розмірності основної величини відносно самої себе дорівнює одиниці і не залежить від інших величин.

При визначенні похідних величин керуються наступними правилами:

1. Розмірність правої і лівої частини рівнянь мають бути однаковими, оскільки порівнюватися між собою можуть тільки однакові властивості.

2. Розмірність добутку декількох величин дорівнює добутку їх розмірності. Якщо залежність між величинами має вигляд  $Q = A \cdot B \cdot C$ , то

$$\dim Q = \dim (A \cdot B \cdot C) = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C.$$

3. Розмірність частки при діленні однієї величини на іншу дорівнює відношенню їх розмірності, тобто  $Q = A/B$ , то

$$\dim Q = \dim (A/B) = \dim A / \dim B$$

4. Для величини, що підноситься до степеня, тобто  $Q = A^n$ , розмірність підноситься до того ж ступеня:  $\dim Q = \dim A^n = \dim A \cdot n$ .

Наприклад, згідно з другим законом Ньютона,  $F = ma$ , де прискорення  $a = v/t$ , то  $\dim F = \dim m \dim a = \text{ML/T}^2 = \text{LMT}^{-2}$ .

Поняття розмірності широко використовується для переведення одиниць з однієї системи в іншу; для перевірки вірності складних розрахункових формул, отриманих в результаті теоретичного висновку; при з'ясуванні залежності між величинами.

Кількісною характеристикою вимірюваної величини служить її **розмір**. Отримання інформації про розмір ФВ є змістом будь-якого вимірювання. При цьому немає іншого експериментального способу отримати інформацію про які б то не було розміри, як виконати порівняння їх між собою. При вимірі за шкалою відношень або шкалою інтервалів виконується порівняння невідомого розміру з відомим, прийнятим за одиницю.

**Одиниця вимірювання фізичної величини** – фізична величина, якій за визначенням присвоєно числове значення, що дорівнює 1. Наприклад, маса 1 кг, сила 1 Н, тиск 1 Па, довжина 1 м, кут  $10^\circ$ .

**Значення вимірюваної фізичної величини** – це оцінка її величини у вигляді деякого числа прийнятих для неї одиниць або числа за прийнятою для неї шкалою. Абстрактне число, що входить в нього, називається числовим значенням. Воно показує на скільки одиниць вимірюваний розмір більше нуля або в скільки разів він більше одиниці вимірювання. Таким чином, значення вимірюваної величини  $Q$  можна виразити через основне рівняння вимірювання:

$$Q = q[Q];$$

де  $Q$  – істинне значення фізичної величини (результат вимірювання);  $q$  – числове значення ФВ;  $[Q]$  – одиниця вимірювання ФВ.

Наприклад, 120 мм – значення лінійної величини; 75 кг – значення маси тіла; НВ 190 – число твердості по Бринелю.

**Одиниця вимірювання** – це ФВ певного розміру, прийнята для кількісного відображення однорідних з нею величин. Якщо допустити довільність у виборі

одиниць, то результати вимірювання виявляться непорівнянними між собою, тобто порушиться єдність вимірювання. Щоб цього не сталося, одиниці вимірювання встановлюються за певними правилами, і закріплюються законодавчим шляхом.

### П и т а н н я д л я с а м о п е р е в і р к и

1. Що таке властивість та величина, які бувають величини?
2. Дайте визначення фізичної величини.
3. Розкажіть про систему СІ та її переваги.
4. Що таке одиниця ФВ? Яка система одиниць ФВ використовується в Україні?
5. Що таке система одиниць фізичних величин?
6. Назвіть основні величини системи одиниць ФВ, прийнятої в Україні. Наведіть приклади похідних фізичних величин і одиниць.
7. Що таке позасистемні одиниці? Які види позасистемних одиниць Ви знаєте?
8. Назвіть приведені значення фізичних величин, використовуючи кратні і частинні префікси:  $5,3 \cdot 10^3$  Ом;  $10,4 \cdot 10^9$  Гц;  $2,56 \cdot 10^6$  Па;  $7,65 \cdot 10^{-3}$  с;  $12,3 \cdot 10^{-6}$  м.
9. Що таке розмірність та розмір ФВ у чому різниця? Запишіть розмірність наступних ФВ: сили, тиску, швидкості, прискорення.

## ТЕМА 3 МІРИ

### Основні питання теми

Призначення, класифікація мір.  
Плоско паралельні кінцеві міри.  
Кутові міри.  
Штрихові міри довжини.  
Калібри їх конструктивні особливості, порядок вимірювання.

### Призначення, класифікація мір

**Міри** – засіб, призначений для відтворення фізичних величин заданого розміру. Міри використовують для вимірювання фізичних величин методом порівняння.

**Класифікація мір.** *За принципом вимірювання:*

**однозначна міра** – міра, що відтворює одне значення фізичної величини (наприклад, гиря масою 1 кг чи кінцева міра довжини, кутові міри тощо);

**багатозначна міра** – міра, що відтворює декілька значень фізичної величини (наприклад, лінійка, електричний конденсатор змінної ємності, штангенциркуль);

**магазин мір** – тобто набори мір, у яких вони об'єднані в єдине конструктивне ціле із пристроєм для їхнього з'єднання в різних варіантах сполучень (магазин опорів, магазин індуктивностей);

**стандартний зразок** – міра у вигляді речовини, за допомогою якої розмір фізичної величини відтворюється як властивість або як склад речовини, з якого виготовлений стандартний зразок, наприклад, стандартний зразок властивостей легированої сталі чи феромагнітного матеріалу визначеної марки.

*За метрологічним призначенням:*

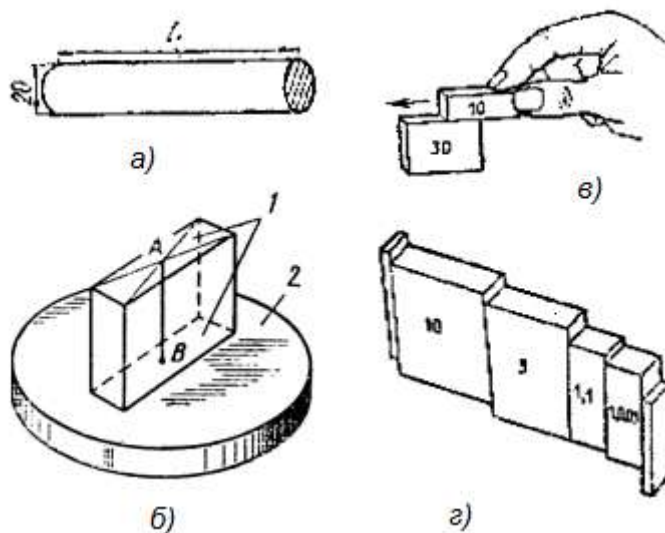
**Еталонні міри** призначені для відтворення та зберігання одиниць фізичних величин з метою передачі їх розміру іншим засобам вимірювальної техніки, в т. ч. іншим (менш точним) еталонним та робочим мірам. Вони служать еталонами під час повірки чи калібрування засобів вимірювальної техніки.

**Робочі міри** служать для вимірювання фізичних величин методом порівняння з мірою, тобто для вимірювань, не пов'язаних з передачею розміру одиниці фізичної величини (робочі вимірювання). Для порівняння використовуються спеціальні технічні пристрої - компаратори.

### Плоскопаралельні кінцеві міри

Для лінійних вимірювань широко застосовують плоскопаралельні кінцеві та штрихові міри довжини. До плоскопаралельних мір довжини умовно можуть бути віднесені установлювальні міри до мікрометрів, калібри-пластини, шупи, установлювальні міри до мікрометричних нутромірів, калібрувальні кільця для настройки нутромірів.

**Плоскопаралельні кінцеві міри довжини** (скорочено ПКМД) відповідно ДСТУ ISO 3650:2009 виготовляються у вигляді циліндричних стрижнів (рис. 3.1, а) або у вигляді прямокутних паралелепіпедів – плиток (рис. 3.1 б, в, г) з двома старанно обробленими площинами, що обмежують їх розміри.



**Рис. 3.1. Кінцеві міри довжини**

*Кінцевими* ці міри називаються тому, що точний розмір у них утворюється між плоскими, паралельними між собою кінцевими поверхнями (кінцями стрижня або прямокутника).

*Циліндричні стрижні* як міри довжини на відміну від призматичних плиток не набули поширення, а застосовуються найчастіше як установочні міри для налагодження мікрометрів.

За довжину кінцевої міри довжини в будь-якій точці приймають довжину перпендикуляра  $AB$  (рис. 3.1, б), опущеного з відповідної точки вимірювальної поверхні кінцевої міри на протилежну вимірювальну поверхню. Обидві вимірювальні поверхні відрізняються від інших поверхонь ПКМД малою шорсткістю (середнє арифметичне відхилення профілю  $Ra \leq 0,016$  мкм).

Номинальні розміри кінцевих мір встановлені в межах від 0,1 до 2000 мм з різницею розмірів в рядах через 0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 10; 25; 50; 100 і 1000 мм.

Завдяки властивості кінцевих мір притиратися є можливість скласти з окремих мір блоки необхідних розмірів (рис.3,1, г).

За точністю виготовлення кінцеві міри довжини випускаються шістьох основних класів: 00; 01; 0;1;2 і 3. Клас точності кінцевих мір визначається допустимим відхиленням дійсної величини від номінальної, плоскопаралельності вимірювальних поверхонь, а також якістю притирання.

Клас точності набору кінцевих мір визначається нижчим класом окремої міри, що входить у набір. До кожного набору додають паспорт, у якому вказують номінальну довжину кожної міри і відхилення.

Залежно від похибки вимірювання довжини міри (похибки атестації) і відхилення їх (робочих поверхонь) від площинності і паралельності кінцеві міри поділяють на 5 розрядів: 1, 2, 3, 4 і 5-й (для 1-го розряду визначена найменша похибка атестації).

Промисловість випускає різні набори кінцевих мір довжини від 4 до 112 шт.

Для більш широкого використання кінцевих мір до них випускаються набори приладів, до яких входять державки для кріплення кінцевих мір і блоків мір для вимірювання і розмічування.

**Розрахунок кінцевих мір.** Приступаючи до роботи з кінцевими мірами довжини, слід попередньо визначити, які міри необхідні для даного блока. Кількість мір у блоці повинна бути мінімальною, тому що похибка блока складається із похибок окремих мір. Скласти блок більше як із п'яти мір не рекомендується.

Розраховуючи розміри кінцевих плоскопаралельних мір довжини для складання їх в блоки, необхідно враховувати наявні в наборі розміри кінцевих мір. Першою береться та міра, яка збігається однією чи кількома останніми цифрами з розміром, що складається. Потім із розміру блока відраховують розмір обраної міри і береться наступна міра, яка збігається з кількома чи однією останньою цифрою із залишком. При цьому треба звертати увагу на такі обставини: краще другу міру взяти такою, щоб в десяти частках міліметра залишалась цифра 5 чи 0. Це дозволяє скласти блок з меншою кількістю мір.

**Щупи** (рис. 3.2) – це сталеві калібровані пластини – різновид кінцевих мір. Призначені вони для перевірки зазорів між деталями (поршень і циліндр, клапан і коромисло тощо).

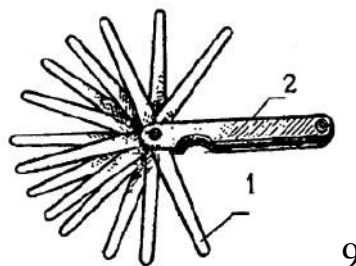


Рис. 3.2. Щупи:

1 – щуп; 2 – накладка

Крім того, щупи застосовують разом з різними приладами для контролю правильності і взаємного розміщення частин деталей. Широко застосовують щупи при контролі плоских з'єднань (шпонкових і шліцьових з'єднань, з'єднань кілець з канавками поршня тощо). Щупи випускають наборами від 1 до 4, довжиною 50, 100 і 200 мм і товщиною від 0,02 до 1 мм.

Для одержання потрібного розміру підбирають кілька щупів так, щоб їх загальна товщина дорівнювала необхідному розміру. Точність щупів значно нижча за точність мірних плиток. У поєднанні з лінійкою щупами можна визначити прямолінійність, а з косинцем – перпендикулярність.

### Кутові міри

Для передачі і безпосереднього вимірювання кутових розмірів застосовуються кутові міри (рис. 3.3).

Відповідно до ДСТУ 7212:2011 кутові міри виготовляються чотирьох типів: з одним робочим кутом і зрізаною вершиною (тип 1); з одним робочим кутом – гострокутні (тип 2); чотирикутні (тип 3): шестикутні і восьмикутні (тип 4). Їх виготовляють у вигляді окремих екземплярів або наборами з 8, 24, 33 і 93 мір з градацією значень кутів через 30", 1', 1°, 15°.

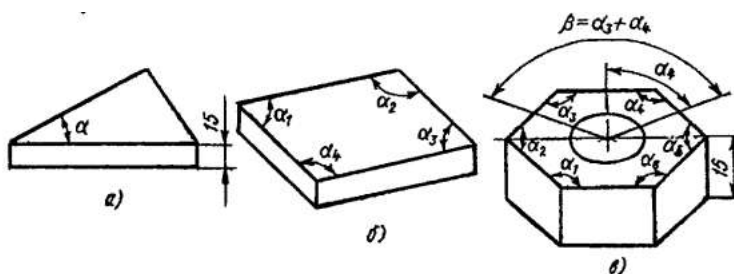


Рис. 3.3. Кутові міри:

- а) – з одним робочим кутом; б) – з чотирма робочими кутами;
- в) – шестигранна призма з нерівномірним кутовим кроком

За точністю виготовлення кутові міри поділяються на три класи точності: 0, 1 і 2 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 –  $\pm 30''$ . На верхній поверхні кожної міри типу 1 (з одним робочим кутом і зрізаною вершиною) наносяться знаки плюс (+) і мінус (–), які показують напрямок уявного перетину вимірювальних поверхонь (вершина двогранного кута). Знак мінус (–) наноситься з боку вершини кута.

Повертаючи кутові міри зрізаною вершиною вниз або вверх (рис. 3.4) можна додавати або віднімати значення кутів мір, що входять у блок, і тим самим обійтися меншим числом мір.

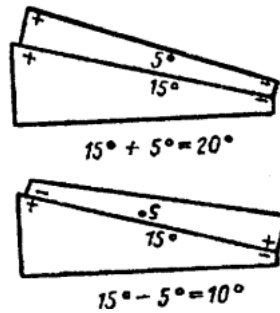


Рис. 3.4. Приклади добору блока з кутових мір

### Штрихові міри довжини

До штрихових мір відносять поширені вимірювальні металеві рулетки і лінійки, а також шкали лінійних розмірів.

Штрихові міри довжини поділяють на однозначні та багатозначні.

**Однозначні міри** мають тільки два штрихи, відстань між якими визначає одне значення довжини міри. Такі штрихові міри довжини застосовують в основному як еталони (наприклад, вторинний еталон метра № 28) і зразкові міри для передачі одиниці довжини від еталона до виробу. Це брускі міри з різною формою перерізу бруска, що забезпечує його жорсткість, виготовлені з корозійностійкого матеріалу з низьким коефіцієнтом лінійного розширення.

Брускі робочі штрихові міри (ДСТУ 8324:2015), як правило, багатозначні і є брусками з нанесеними на них штрихами або шкалами (рис. 3.5, а).

До штрихових мір довжини, окрім брускіх мір, відносять також металеві вимірювальні лінійки і стрічкові рулетки (рис. 3.5, б, в, г, д, е).

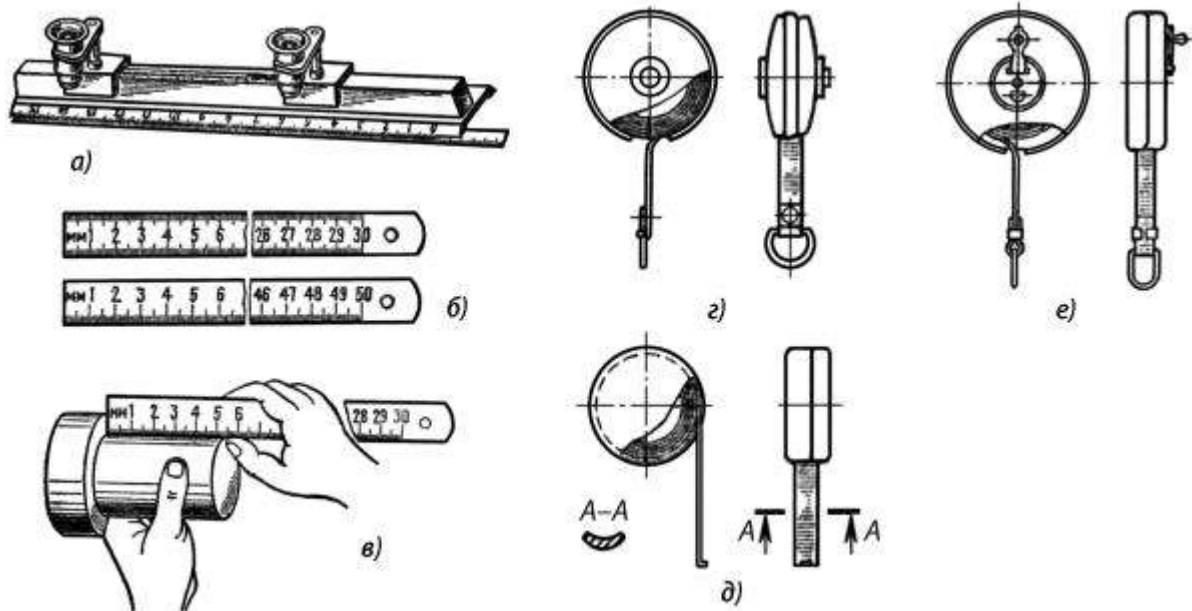


Рис. 3.5. Штрихові міри довжини

Це прості штрихові міри вимірювання методом безпосереднього порівняння певних довжин і відстаней зі шкалою. Знайшли застосування багатозначні штрихові міри довжини, що мають ряд штрихів (шкалу), нанесених через інтервали 1 дм, 1 см, 1 мм, 0,1 або 0,2 мм (скляні шкали мають ціну поділки 0,1 та 0,01 мм).

**Багатозначні штрихові міри** застосовують для вимірювання довжини, а також як шкали верстатів та приладів.

## Калібри

**Калібрами** називають безшкальні міри, які призначені для контролю розмірів, форми і розташування поверхонь деталей.

*За методом контролю* калібри поділяють на **нормальні** та **граничні**.

**Нормальні калібри** копіюють розміри та форму виробів. Їхні розміри відповідають номінальним розмірам контрольованих виробів.

**Граничні калібри** відтворюють розміри, відповідні верхній та нижній межам допуску виробів, і зазвичай мають два робочі розміри: один відповідає найбільшому граничному розміру, а другий – найменшому граничному розміру. Один з указаних розмірів називають «прохідним» і позначають буквами **ПР**, інший – «непрохідним», позначають буквами **НЕ**.

Граничні калібри одержали більш широке застосування, проте деякі види нормальних калібрів іще успішно використовують у машинобудуванні. Це, в першу чергу, шаблони, щупи і конусні калібри.

**Комплексні калібри** призначені для перевірки кількох розмірів виробів, а **диференціальні (прості) калібри** – одного розміру.

*За конструкцією* граничні калібри поділяють на такі види: **нерегульовані** (жорсткі) та **регульовані**, які дозволяють компенсувати зношування калібру або встановити його на інший розмір; **однограничні** та **двограничні**, що об'єднують прохідний та непрохідний калібри; **односторонні**, у яких обидва граничні калібри розташовані з одного боку, та **двосторонні**.

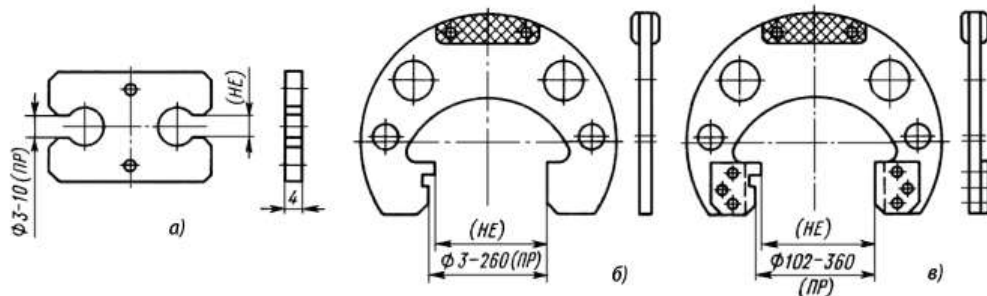
*За призначенням* розрізняють **робочі** калібри для **контролю** виробів під час виготовлення, калібри **контролера** для перевірки виробів працівниками ВТК; **приймальні** калібри для контролю виробів замовником; **контрольні** калібри для перевірки розмірів робочих і приймальних калібрів. Як калібри контролера і приймальні калібри використовують частково зношені прохідні та нові непрохідні робочі калібри.

Перевагою калібрів є економічність і висока продуктивність вимірювань при масовому та серійному виробництві. Основні вимоги до калібрів: висока точність виготовлення, велика жорсткість за малої маси, зносостійкість, корозійна стійкість, стабільність робочих розмірів, зручність у роботі.

### **Калібри для гладких валів і отворів**

Для контролю розмірів валів застосовують **граничні калібри–скоби**, а для контролю розмірів отворів – **граничні калібри–пробки** (ДСТУ ISO 286, ISO 1938).

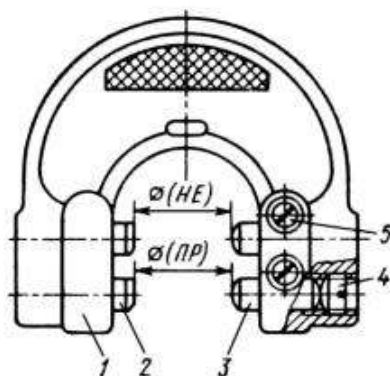
Гладкі двограничні калібри–скоби, призначені для контролю валів із допусками за квалітетом 7 і вище, випускають трьох основних типів: листові двосторонні (рис. 3.6, а); листові (або штамповані) односторонні (рис. 3.6, б); односторонні зі змін ними губками (рис. 3.6, в).



**Рис. 3.6. Гладкі калібри-скоби:**

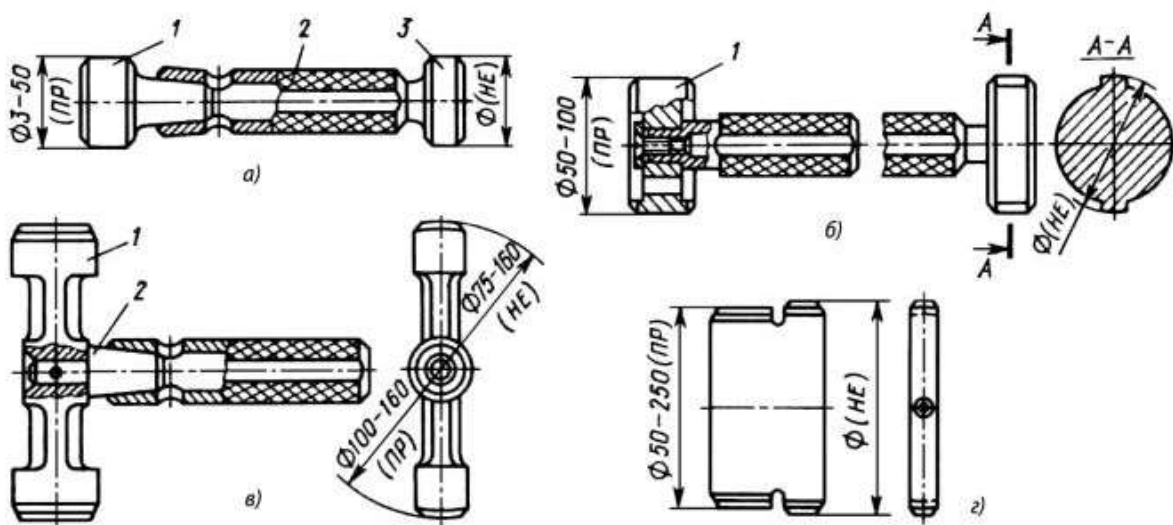
а) – двосторонній; б) – односторонній; в) – зі змінними губками

Регульовані скоби для діаметрів 0...340 мм (рис. 3.7) мають нерухомі п'яти 2, які запресовані в корпусі 1, і рухомі п'яти 3, які при установлюванні на розмір по кінцевих мірах довжини переміщують гвинтами 4 і затискають гвинтами 5.



**Рис. 3.7. Регульована скоба**

**Гладкі калібри-пробки** випускають кількох типів, наприклад, двосторонні зі вставками 1 та 3, насадженими конічними хвостовиками на ручку 2 (рис. 3.8, а); однограничні з насадкою 1, що кріпиться на ручці гвинтами (рис. 3.8, б); однорядні з неповною насадкою 1 і конічними хвостовиками 2 (рис. 3.8, в); листові односторонні (рис. 3.8, г).

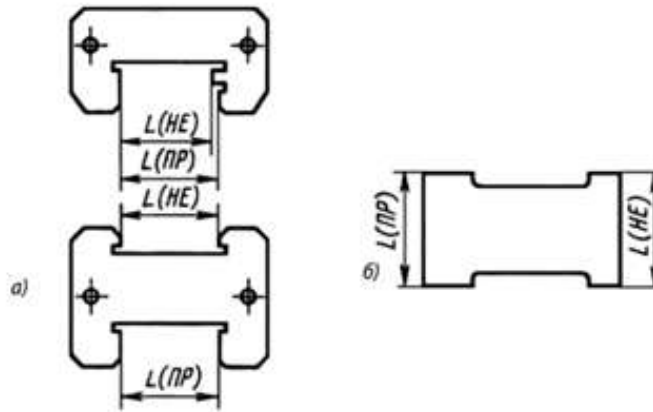


**Рис. 3.8. Гладкі калібри-пробки:**

а – двосторонній; б – однограничний; в – з неповною насадкою; г – листовий

Під час контролю прохідні калібри мають вільно проходити у виріб під дією власної ваги, а непрохідні не повинні входити у виріб більше ніж на довжину фасок. За додаткових зусиль виникають похибки контролю внаслідок деформації.

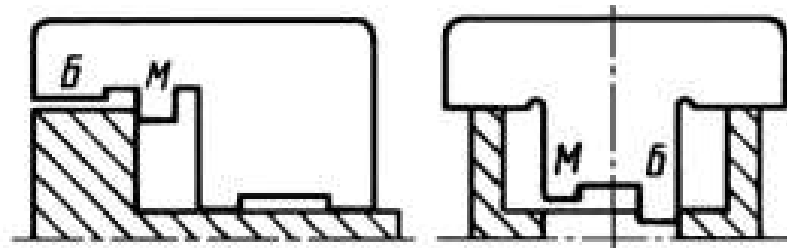
**Калібри для контролю лінійних розмірів:** довжини, глибини та висоти уступів – застосовують граничні листові калібри (ДСТУ ISO 1938-1, ДСТУ ISO 1938-2 разом із ДСТУ ISO 286-1 та ДСТУ ISO 286-2.). Калібри–скоби (рис. 3.9, а) призначені для контролю довжини виробів 10...500 мм. Довжину отворів контролюють листовими пробками (рис. 3.9, б).



**Рис. 3.9. Калібри довжин:**

а) – скоби; б) – пробка

Основні методи контролю глибини та висоти уступів – насуванням, на про-світ, по рисках і на дотик. При насуванні калібру велика сторона Б повинна прохо-дити над уступом, а мала сторона М – знаходити на нього (рис. 3.10) або навпаки.



**Рис. 3.10. Калібри для контролю глибин і висот**

### П и т а н н я д л я с а м о п е р е в і р к и

1. Що таке міри, класифікація мір?
2. Для чого служать плоскопаралельні кінцеві міри довжини, їх види?
3. Для чого служать кутові міри їх види?
4. Що відноситься до штриховим мір довжини їх різновиди?
5. Що таке калібри їх види особливості вимірювання?

## ТЕМА 4 ШТАНГЕНІНСТРУМЕНТ

### Основні питання теми

Призначення. Основні елементи штангенінструменту.

Штангенциркуль. Основні види, порядок вимірювання та відлік показань вимірювання.

Інші штангенінструменти, особливості конструкцій, порядок вимірювання та відлік показань вимірювання.

### Призначення. Основні елементи штангенінструменту

Штангенінструменти є універсальними багатомірними шкальними вимірювальними засобами, що застосовують на машинобудівних і ремонтних підприємствах. Їх використовують для вимірювань лінійних розмірів невисокої точності, для розмічування деталей та інших робіт. До них належать штангенциркуль, штангенглибиномір і штангенрейсмус а також штангензубоміри як інструмент спеціального призначення. Ці типи інструментів відрізняються один від одного конструкцією та розміщенням вимірювальних поверхонь.

Основною особливістю штангенінструментів є наявність у них двох шкал – **основної і додаткової**.

**Основна шкала** нанесена на лінійці або штанзі і є позначковою мірою з довжиною поділок 1 мм, позначки якої є перпендикулярними до граней штанги. Вона слугує безпосередньо для вимірювання, по ній визначають абсолютне значення вимірюваної величини.

**Додаткова шкала**, яка називається **ноніусом**, служить для ділення поділок основної шкали на частки і дає змогу відлічувати ці частки і тим самим сприяє підвищенню точності відліку по ній. Додаткова шкала–ноніус закріплена на рамці і може переміщуватись по основній лінійці–штанзі. Штангенінструменти мають лінійний ноніус.

Ноніуси виготовляють з ціною поділки (величиною відліку за ноніусом) 0,1; 0,02, 0,05 мм.

**Розрахунок шкали ноніуса.** Основною характеристикою при розрахунку ноніуса є величина відліку (або точність відліку) по ноніусу  $i$ .

При розрахунку ноніуса визначають:

1) число поділок шкали ноніуса:  $n = c/i$ ,

де  $c$  – довжина поділок основної шкали. Для більшості випадків для штангенінструментів  $c = 1$  мм; .

або  $i = c/n$ , мм, тобто точність відліку по ноніусу і дорівнює частці від ділення довжини поділки основної шкали на число поділок шкали ноніуса;

2) довжину поділок шкали ноніуса:  $v = \gamma - i$ , мм,

де  $\gamma$  – модуль шкали ноніуса.

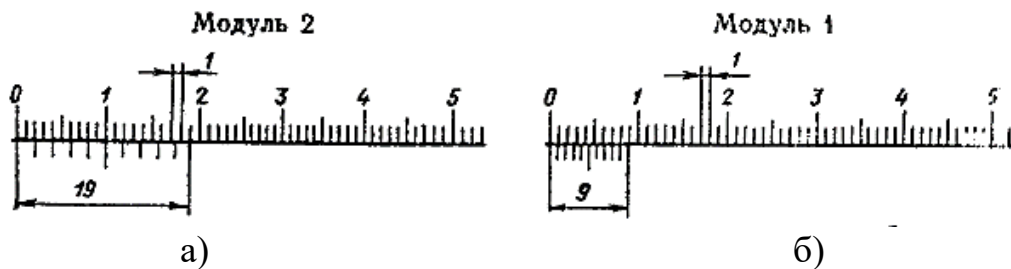
**Модулем шкали ноніуса** можна назвати число, яке показує, скільком поділкам основної шкали відповідає одна поділка шкали ноніуса. Модуль  $\gamma$  виражається

натуральними числами 1, 2, 3, ..., яке слугує для збільшення довжини поділок шкали ноніуса. Чим більший модуль  $\gamma$  тим більша довжина поділок шкали ноніуса  $i$  є довшою сама шкала.

Модуль шкали ноніуса беруть більшим за одиницю найчастіше для штангенінструментів з точністю відліку 0,02 і 0,05 мм, бо в цих випадках шкала ноніуса має значно більше поділок, ніж за точності відліку 0,1 мм, і тому важче розпізнати позначку, яка найточніше збігається з позначкою основної шкали. У більшості випадків модуль  $\gamma$  шкали ноніуса приймають рівним 1, 2 і 5.

Якщо модуль шкали ноніуса  $\gamma = 1$ , то це означає, що одній поділці основної шкали відповідає одна поділка шкали ноніуса, і така шкала ноніуса називається нормальною (рис. 4.1, б і 4.2, б).

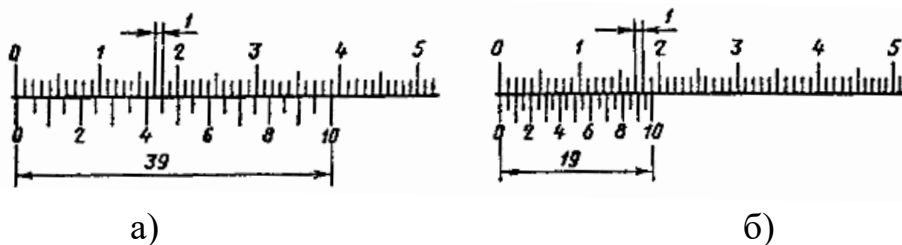
Значення відліку 0,1 мм



**Рис. 4.1. Шкала ноніуса:**

а) – розтягнута (модуль 2); б) – нормальна (модуль 1)

Значення відліку 0,05 мм



**Рис. 4.2. Шкала ноніуса:**

а) – розтягнута; б) – нормальна

Якщо модуль ноніусної шкали  $\gamma = 2$ , то це означає, що одній поділці шкали ноніуса відповідає дві поділки основної шкали (рис. 4.1, а і 4.2, а) і така шкала ноніуса називається розтягнутою.

Довжина шкали ноніуса:  $l = bn = (\gamma - i)n$ , мм.

Наприклад, при величині відліку по ноніусу  $i = 0,05$  мм, довжині поділок основної шкали  $c = 1$  мм і модулі шкали ноніуса  $\gamma = 2$  число поділок ноніуса:  $n = c/i = 1/0,05 = 20$  поділок (рис. 4.1, а).

Довжина поділок ноніуса:  $b = \gamma c - i = 2 \cdot 1 - 0,05 = 1,95$  мм.

Довжина ноніуса:  $l = bn = 1,95 \cdot 20 = 39$  мм (рис. 4.2, а).

При відліку по ноніусу  $i = 0,1$  мм, довжині поділок основної шкали  $c = 1$  мм і модулі шкали ноніуса  $\gamma = 1$  матимемо:

$n = c/i = 1/0,1 = 10$  поділок (рис. 4.1, б);

$b = \gamma c - i = 1 \cdot 1 - 0,1 = 0,9$  мм;

$l = bn = 0,9 \cdot 10 = 9$  мм (рис. 4.1, б).

Таким чином ноніусний пристрій заснований на різниці довжини поділок основної шкали і шкали ноніуса. Наприклад, якщо довжина поділок основної шкали  $c = 1$  мм, а довжина поділок шкали ноніуса  $b = 0,9$  мм, то величина відліку по ноніусу становитиме:  $i = c - b = 1 - 0,9 = 0,1$  мм.

### Штангенциркуль. Основні види, порядок вимірювання та відлік показань вимірювання

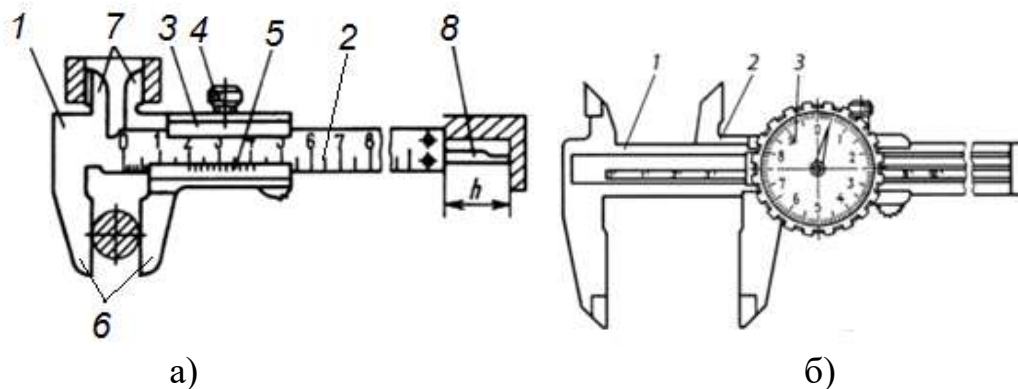
**Штангенциркуль** – універсальний штангенінструмент, призначений для вимірювань зовнішніх і внутрішніх розмірів предметів, а також глибин отворів та розмітки. Штангенциркуль — найпопулярніший інструмент вимірювання, завдяки простоті конструкції та зручності в роботі.

Конструктивно штангенциркулі розрізняють за межами вимірювання, формою вимірювальних губок і рухомої рамки, а також точністю вимірювання.

За способом зняття показів вимірювання, штангенциркулі поділяються на: ноніусні; циферблатні; цифрові.

Штангенциркулі згідно з ДСТУ EN ISO 13385-1:2022 випускають наступних типів:

**ШЦ–І** — штангенциркуль з двостороннім розташуванням губок для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів і з лінійкою для вимірювання глибин (рис. 4.3, а);



**Рис. 4.3. Штангенциркулі:**

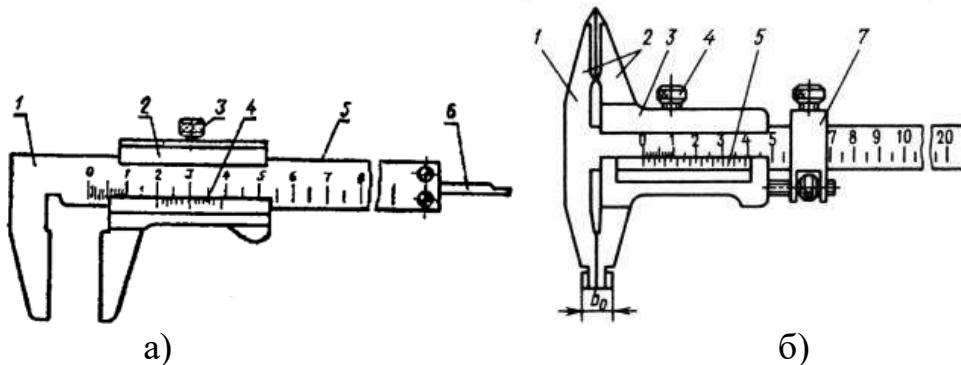
а) – штангенциркуль ШЦ–І; б) – штангенциркуль ШЦК–І

До складу штангенциркуля (рис. 4.3, а) входять наступні складові частини. Основна штанга 1, на яку кріпиться вся рухома арматура. На ній знаходиться основна шкала 2. Рухлива рамка 3, що має гвинтовий фіксатор 4 та притискається внутрішньої пружинної пластиною. На ній знаходиться шкала ноніуса 5. Вона може бути нанесена безпосередньо на рамку, а може перебувати на пластині, закріпленої гвинтами. Це дозволяє регулювати її відносно шкали на штанзі. Губки для вимірювань зовнішніх поверхонь 6, або великі губки. Одна з них закріплена на нерухомій штанзі, а інша — на рухомій рамці. На кінцях є вузькі поверхні, що дає додаткові можливості для вимірювання. Губки для виміру внутрішніх поверхонь 7, лінійка глибиноміра 8.

**ШЦК–І** — (штангенциркуль з відліком за круговою шкалою рис. 4.3, б) для відліку вимірів замість ноніуса має відлікову стрілочну головку 3. У виїмці штанги розміщена рейка, з якою зчеплена шестерня головки, тому результати вимірювання штангенциркулем, що відповідають положенню губок, зчитують на круговій шкалі

голівки за розташуванням стрілки. Це значно простіше, швидше і менш обтяжливо для виконавця, ніж зчитування відліку по ноніусу;

**ШЦТ-I** — з одностороннім розташуванням губок, виготовлених з твердого сплаву для вимірювання зовнішніх розмірів і глибин в умовах підвищеного абразивного зношування (рис. 4.4, а);

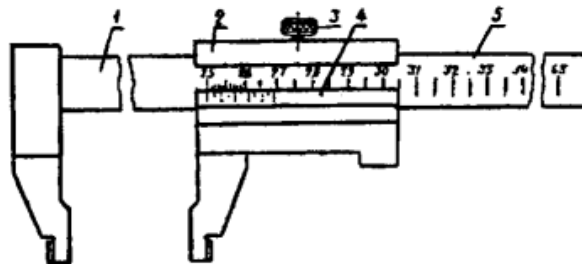


**Рис. 4.4. Штангенциркулі:**

а) – штангенциркуль ШЦТ-I; б) – штангенциркуль ШЦТ-II

**ШЦ-II** — з двостороннім розташуванням губок для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів і для розмітки (рис. 4.4, б). Для полегшення останньої оснащений рамкою мікрометричної подачі 7;

**ШЦ-III** — з одностороннім розташуванням губок для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів (рис. 4.5).



**Рис. 4.5. Штангенциркуль ШЦ-III**

Штангенциркулі виготовляють з границями вимірювання від 0 до 2000 мм з відліком по ноніусу 0,02; 0,05 і 0,1мм, двох класів точності 1 та 2 (для штангенциркулів з відліком по ноніусу 0,1 мм).

Також випускають більш сучасні штангенциркулі з цифровою індикацією ШЦЦ-1 (рис. 4.6, а) та комп'ютеризовані (4.6, б).



**Рис. 4.6. Сучасні штангенциркулі:**

а) – штангенциркуль ШЦЦ-I; б) – комп'ютеризовані

Головна перевага мікронного комп'ютеризованого штангенциркуля полягає в використанні комп'ютеризованої вимірювальної системи з внутрішньою пам'яттю, з кольоровою індикацією. Сучасні штангенциркулі точніші, зручніше, дозволяють швидше зчитувати показання вимірювань але і більш дорогі.

*Послідовність вимірювання деталей штангенциркулем:*

- перевіряють інструмент на справність, для цього зводять губки без деталі до нуля, дивляться на просвіт, наскільки правильно вони з'єдналися, а також дивляться на шкалу, чи збіглися нулі на двох шкалах. Після позитивного результату можна приступити до вимірювання;
- звільняють затискні гвинти рухомої вимірювальної губки і мікрометричної подачі (у штангенциркулів ШЦ–І пристрою мікрометричної подачі немає);
- притискають нерухому губку до поверхні виробу і переміщують рухому губку до зіткнення з виробом, одночасно перевіряють і правильність їхнього положення (відсутність перекосів, зазорів і нормальність зусилля під час переміщення);
- закріплюють хомутик стопорним гвинтом і, обертаючи гайку мікрометричної подачі по гвинту, створюють щільне зіткнення між губками і поверхнею деталі (тільки для ШЦ–II);
- зафіксують рухомі вимірювальні губки стопорним гвинтом;
- знімають штангенциркуль з деталі;
- виконують відлік вимірювальної величини.

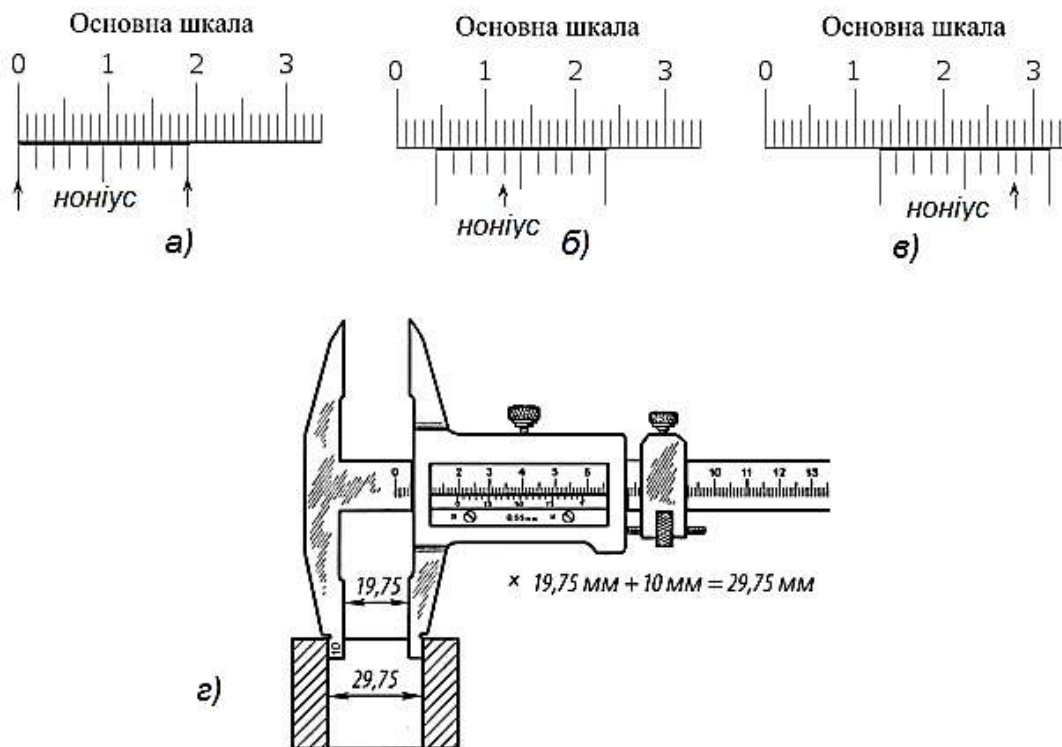
*Порядок відліку показань штангенциркуля за шкалами штанги і ноніуса:*

- визначають число цілих міліметрів, для цього знаходять на шкалі штанги штрих, найближчий зліва до нульового штриха ноніуса;
- визначають частки міліметра, для цього на шкалі ноніуса знаходять штрих, який збігається зі штрихом шкали штанги;
- підраховують повну величину показання штангенциркуля, для цього складають відлік за основною шкалою (число цілих міліметрів) і відлік за шкалою ноніуса (часток міліметра).

Під час читання показань штангенциркуль слід тримати прямо перед очима (не збоку, це призведе до не правильних результатів вимірювань).

Порядок вимірювання штангенциркулями внутрішніх розмірів такий же, як і при вимірюванні зовнішніх, лише до відліку по шкалі треба додати сумарну товщину двох губок, розмір яких вказаний на них (крім штангенциркулів ШЦ–I).

Приклади відділків показань штангенциркуля наведені на рис. 4.7.



**Рис. 4.7. Відлік показань штангенциркуля:**

- а) – відлік 0 мм; б) – відлік 4,4 мм; в) – відлік 12,8 мм;  
 г) – відлік показань при внутрішніх вимірювань

### **Інші штангенінструменти, особливості конструкцій, порядок вимірювання та відлік показань вимірювання**

**Штангенглибиномір** – інструмент для вимірювання глибин отворів, пазів, висоти уступів тощо. Штангенглибиномір має будову подібну до штангенциркуля, але на штанзі інструменту відсутні губки.

Штангенглибиноміри виготовляються за ДСТУ EN ISO 13385-2:2018 і бувають наступних типів:

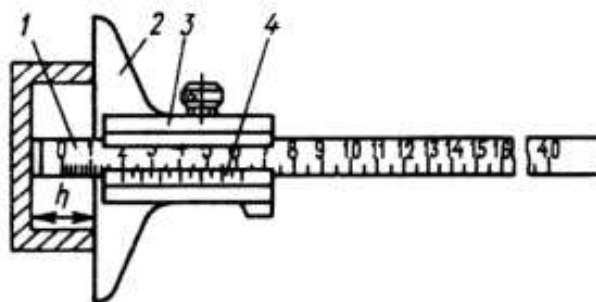
ШГ – з відліком по ноніусу;

ШГК – з відліком по коловій шкалі;

ШГЦ – з електронним цифровим пристроєм відліку.

Штангенглибиноміри виготовляють з границями вимірювання від 0 до 160, 200, 250, 300, 400, 630, 1000 мм і з точністю відліку 0,02; 0,05 і 0,1мм.

**Штангенглибиноміри** (рис. 4.8) мають штангу 1 без губок і рамку 3 з основою 2 і ноніусом 4. Вимірювальними поверхнями є торці штанги і основи 2.



**Рис. 4.8. Штангенглибиномір**

Перед вимірюванням поверхню траверси штангенглибиноміра встановлюють на гладку перевірочну плиту. Штангу разом з траверсою притискають до поверхні плити і переконаються у збіганні нульових штрихів (основної шкали і шкали ноніуса) інструмента.

*Вимірювання виконують у такій послідовності:*

- основу (траверсу) штангенглибиноміра встановлюють на одну із поверхонь деталі і прижимають її;
- при звільненні стопорних гвинтів основи і хомутика, штангу опускають до зіткнення з другою поверхнею деталі, так щоб основа не рухалась;
- закріплюють стопорним гвинтом штангу;
- знімають інструмент з деталі;
- виконують відлік вимірювальної величини

*Відлік показань по шкалах штангенглибиноміра здійснюється так само, як і по шкалах штангенциркуля.*

**Штангенрейсмас (штангенрейсмус)** – інструмент для вимірювання висоти і проведення розмітки. За конструкцією прилад схожий на штангенциркуль, але встановлений на підставці і розташований у вертикальній площині.

Штангенрейсмаси виготовляються за ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 і бувають наступних типів:

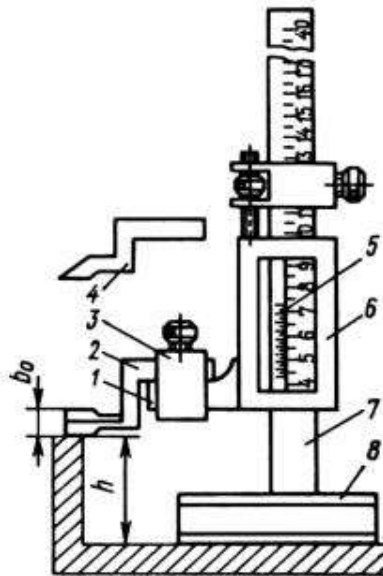
ШР – з відліком по ноніусу;

ШРК – із пристроєм відліку з коловою шкалою;

ШРЦ – з електронним цифровим пристроєм відліку.

Штангенрейсмаси виготовляють з границями вимірювання від 0 до 250, 40...400, 60... 630, 100...1000, 600...1600, 1500...2500 мм і з точністю відліку 0,01, 0,02; 0,05 і 0,1мм.

Штангенрейсмаси (рис. 4.9) мають штангу 7 встановлену в масивну підставку 8, нижня площина якої є початком шкали. Рамка 6 із ноніусом 5 має кронштейн 1, на якому хомутом 3 кріплять вимірювальну 2 або розмічальну 4 ніжку.



**Рис. 4.9. Штангенрейсмас**

*Вимірювання штангенрейсмасом.* За відсутності зазору між ніжкою і плитою (або кінцевою мірою, що дорівнює нижній межі вимірювання) нульові штрихи ноніуса і штанги повинні збігатися.

Під час вимірювання висоти лівою рукою притискають основу до плити, а правою рукою за допомогою мікроподачі доводять вимірювальну ніжку до зіткнення з поверхнею деталі.

При розмітці після встановлення розміру правою рукою, злегка притискаючи основу до плити, переміщують штангенрейсмас відносно деталі.

Послідовність дій при роботі з штангенрейсмасом, а також відлік показань виконується аналогічно іншим штангенінструментам з урахуванням його конструктивних особливостей.

Більш детально про роботу з штангенінструментами описано в роботах [1, 3].

### П и т а н н я   д л я   с а м о п е р е в і р к и

1. Для чого служать штангенінструменти, які основні їх елементи ?
2. Для чого служать штангенциркуль, які бувають види та їх пристрій?
3. Яка послідовність дій при вимірюванні штангенциркулем та порядок відліку показань ?
4. Що таке ноніус, модуль шкали та яка буває точність відліку штангенциркулів?
5. Для чого служать штангенглибиноміри їх пристрій, порядок вимірювання, та відлік результатів вимірювання?
6. Для чого служать штангенрейсмаси їх пристрій, порядок вимірювання, та відлік результатів вимірювання?

## ТЕМА 5 МІКРОМЕТРИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ

### Основні питання теми

Призначення. Види мікрометричного інструменту.

Основні елементи мікрометричного інструменту.

Порядок вимірювання та відлік показань вимірювання мікрометричним інструментом.

Призначення, будова, види, характеристика мікрометричного глибиноміра, порядок роботи.

Призначення, будова, види, характеристика мікрометричного нутроміра, порядок роботи.

### Призначення. Види мікрометричного інструменту

**Мікрометричний інструмент** – універсальний, багатомірний шкальний інструмент (прилад), призначений для вимірювань лінійних розмірів абсолютним контактним методом в області малих розмірів з високою точністю (до 0,001 мм). Його використовують для вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів, глибини па-зів та отворів, довжини уступів тощо.

Мікрометричні інструменти є поширеним засобом вимірювання. В даний час існує багато типів стандартизованих мікрометричних інструментів, які відрізняються за конструкцією, призначенням, межами вимірювання тощо.

До мікрометричних інструментів **загального** призначення належать гладкий мікрометр, мікрометричний внутрішньомір, мікрометричний глибиномір, і важільний мікрометр.

До **спеціальних** мікрометричних інструментів належать мікрометри листові, дротові, трубні, зубомірні, різбові тощо.

Це інструмент вищої точності, ніж штангенінструмент.

Принцип роботи мікрометричних інструментів заснований на використанні —точно виготовленої мікрометричної гвинтової пари (гвинт – гайка) з певним точним дрібним кроком  $P = 0,5$  мм. Гвинтова пара перетворює обертовий рух мікрометричного гвинта в поступальний.

Відповідно ДСТУ ISO 3611:2019 мікрометри виготовляють наступних типів: **МК** – гладкі для вимірювання зовнішніх розмірів виробів (рис. 5.1);

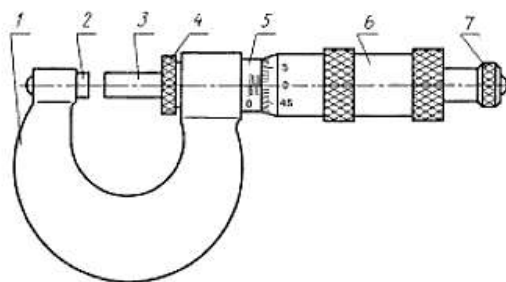
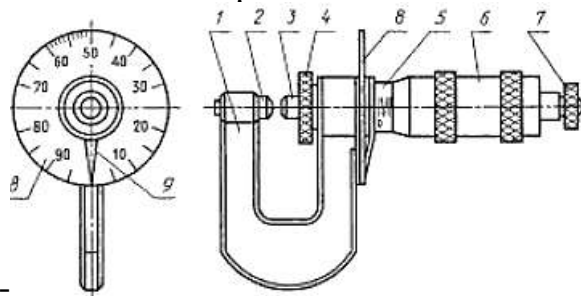


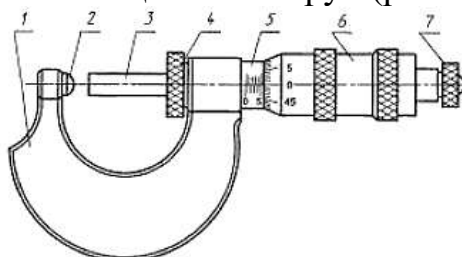
Рис. 5.1. Мікрометр тип МК

**МЛ** – листові з циферблатом для вимірювання товщини листів та стрічок (рис. 5.2);



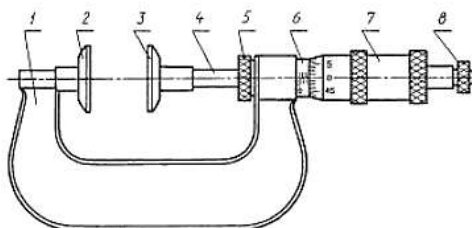
**Рис. 5.2. Мікрометр тип МЛ**

**МТ** – трубні для вимірювання товщини стін труб (рис. 5.3);



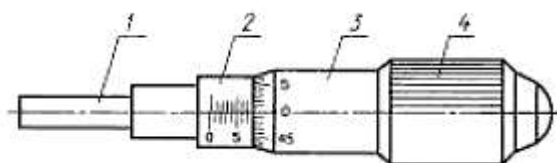
**Рис. 5.3. Мікрометр тип МТ**

**МЗ** – зубомірні для вимірювання довжини загальної нормалі зубчастих коліс з модулем від 1 мм (рис. 5.4):



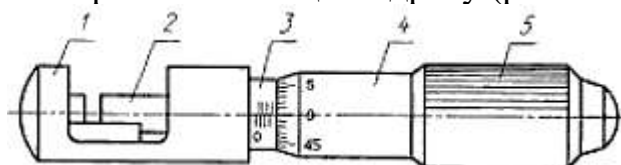
**Рис. 5.4. Мікрометр тип МЗ**

**МГ** – мікрометричні головки для вимірювання переміщення (рис. 5.5);



**Рис. 5.5. Мікрометр тип МГ**

**МП** – мікрометри для вимірювання товщини дроту (рис. 5.6).



**Рис. 5.6. Мікрометр тип МП**

Також випускають і більш сучасні та зручні цифрові (електронні) мікрометри (рис. 5.7) з точністю вимірювання 0,001 мм та похибкою в межах 1...3 мкм.



Рис. 5.7. Сучасний цифровий мікрометр

Гладкий мікрометр МК призначений для вимірювання зовнішніх розмірів виробів. Ціна поділки – 0,01 мм. Вимірювальне переміщення мікрометричного гвинта – 25 мм. Межі вимірювань мікрометрів залежать від розміру скоби і становлять 0...25; 25...50; ...; 275...300; 300...400; 400...500 і 500...600 мм.

### Основні елементи мікрометричного інструменту

До основних деталей та вузлів належать (рис. 5.8) 1 – скоба; 2 – п'ята; 3 – гайка кільцева; 4 – стебло; 5 – мікрометрична гайка; 6 – гайка; 7 – мікрометричний гвинт; 8 – ковпачкова гайка; 9 – тріскачка; 10 – стебло. Мікрометри для розмірів понад 300 мм оснащені змінними або пересувними п'ятами, що забезпечують діапазон вимірювань 100 мм.

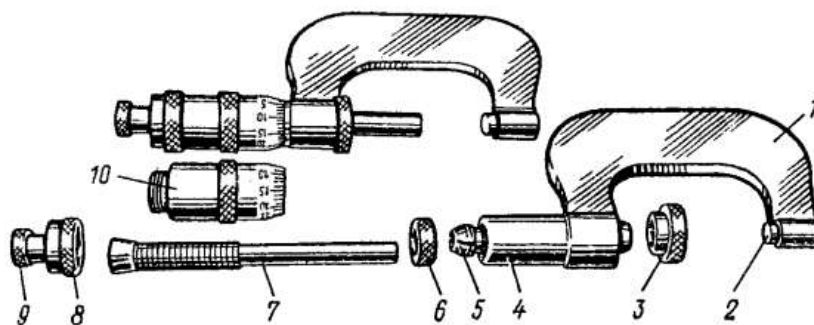
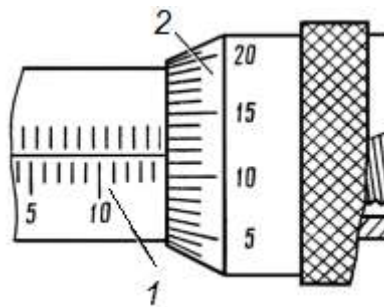


Рис. 5.8. Гладкий мікрометр МК

Тріскачка 9 забезпечує необхідне вимірювальне зусилля, яке дорівнює  $7 \pm 2$  Н, що зменшує похибки вимірювання. Для створення необхідного вимірювального зусилля при вимірюванні достатньо повернути тріскачку до появи тріску (два-три клацання).

Відліковий пристрій мікрометричних інструментів (рис. 5.9) складається з двох шкал: поздовжньої 1 і кругової 2.



**Рис. 5.9. Відліковий пристрій мікрометричних інструментів**

Поздовжня шкала нанесена на стеблі і має два ряди позначок, розташованих по обидві сторони горизонтальної лінії і зміщених один відносно другого (верхній ряд зміщений відносно нижнього вправо) на 0,5 мм. Таким чином обидва ряди позначок утворюють одну поздовжню шкалу з ціною поділок 0,5 мм, що дорівнює крокові мікрометричного гвинта. Нижній ряд 1 позначок цифрований і використовується для відліку цілих міліметрів, верхній, не цифрований – для відліку половин міліметрів. Друга замкнена кругова шкала 2 нанесена на конусній поверхні барабана, одержана внаслідок поділу кола кромки барабана на 50 рівних частин. Отже, ціну поділок колової шкали барабана можна визначити за формулою:

$$i = P/n = 0,5 / 50 = 0,01 \text{ мм},$$

де  $P = 0,5$  мм – крок мікрометричного гвинта;  $n = 50$  – кількість поділок кругової шкали.

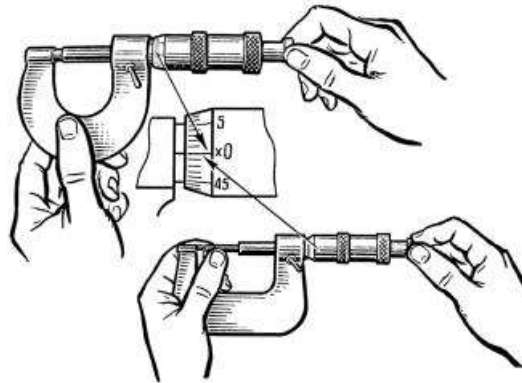
Таким чином ціна поділки кругової шкали  $i = 0,01$  мм.

Принцип дії відлікового пристрою мікрометричного інструмента заснований на використанні правила гвинтової пари, відповідно до якого шлях  $l$ , що проходить мікрометричний гвинт в осьовому напрямку при нерухомій гайці, прямопропорційний крокові  $P$  і числу його обертів  $n$ , тобто:  $l = Pn$ , мм.

Повертання барабана, а з ним і мікрометричного гвинта, на один оберт приведе до переміщення мікрометричного гвинта в осьовому напрямку на  $l = 0,5$  мм ( $l = 0,5 \cdot 1 = 0,5$  мм) і кромка барабана переміститься від однієї позначки поздовжньої шкали до другої, отже, ціна поділок поздовжньої шкали  $i = 0,5$  мм.

Якщо ж барабан повернути на одну поділку кругової шкали відносно поздовжньої горизонтальної лінії на стеблі, що буде відповідати  $1/50$  оберту, то мікрометричний гвинт переміститься в осьовому напрямку на величину  $l = 0,5 \cdot 1/50 = 0,5/50 = 0,01$  мм. З цього випливає, що повертання мікрометричного гвинта на одну поділку шкали барабана приведе до осьового переміщення гвинта на 0,01 мм. Отже, ціна поділок кругової шкали барабана і величина відліку мікрометра становить 0,01 мм. Для зручності відліку на круговій шкалі барабана, як і на поздовжній шкалі, кожна п'ята здовжена позначка позначається відповідно до цифр 0; 5; 10; 15 і т.д. до 45, які слід читати як соті частини міліметра. Нульова позначка на круговій шкалі барабана відповідає числу 50. Як зазначалось, вимірювальними поверхнями мікрометра є гладенькі, плоскі і паралельні одна одній торцьові поверхні п'ятки і мікрометричного гвинта. При стулених вимірювальних поверхнях нульова позначка кругової шкали барабана повинна збігатися з поздовжньою горизонтальною лі-

нією на стеблі, а кромка скошеної частини барабана – з нульовою позначкою поздовжньої шкали стебла (рис. 5.10). Таке положення вимірювальних поверхонь є нульовим або установочним положенням мікрометра.



**Рис. 5.10. Перевірка нульового положення мікрометра**

### **Порядок вимірювання та відлік показань вимірювання мікрометричним інструментом**

*Порядок вимірювань мікрометричним інструментом.* Перед вимірюванням вибирають інструмент із необхідними межами вимірювання, перевіряють плавність ходу мікрометричного гвинта (переміщення повинно бути плавним і без заїдань) і правильність нульового показання інструмента.

Перевірка встановлення на нуль виконується в такій послідовності (рис. 5.10):

- обертаючи цифровий барабан разом з мікрометричним гвинтом за тріскачку, приводять у зіткнення вимірювальної поверхні торців мікрогвинта і п'ятки (поки не почне прокручуватись тріскачка);
- у зімкненому положенні вимірювальних поверхонь скошений край цифрового барабана повинен зупинитись на початковій нульовій поділці шкали на стеблі, а нульова поділка відлікового барабана повинна розташуватись проти поздовжнього штриха на стеблі.

Якщо встановлення неправильне, тоді необхідно:

- а) закріпити стопором мікрогвинт;
- б) притримуючи лівою рукою скобу і корпус барабана за накатку і обертаючи правою рукою за накатку хвостовика, звільняють від мікрометричного гвинта корпус відлікового барабана;
- в) корпус барабана, який вільно сидить на мікрогвинті, повертають так, щоб відбулося нульове встановлення;
- г) притримуючи корпус барабана за накатку, з'єднують хвостовиком барабан з мікрометричним гвинтом.

Під час перевірки мікрометрів з межами вимірювання 25–50, 50–75 та ін., торці мікрогвинта і п'ятки призводять у зіткнення із спеціальною циліндричною установчою мірою або з плоскопаралельною кінцевою мірою довжини, що дорівнює нижній межі вимірювання мікрометра, тобто 25, 50 мм.

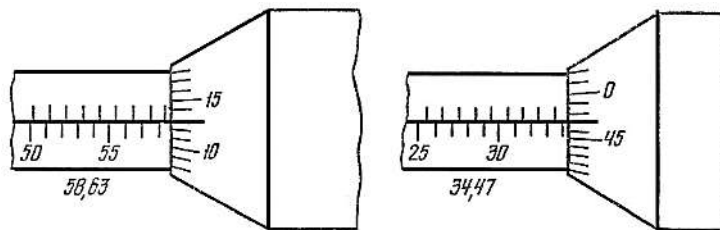
Вимірювання деталей гладкими мікрометрами.

1. Встановлюють вимірювану деталь між поверхнями мікро гвинта і п'ятки і, обертаючи за тріскачку, доводять вимірювальні поверхні до деталі.
2. Закріплюють мікрогвинт стопором.
3. Здійснюють відлік по першому відліковому пристрою на стеблі, який складається з нижньої шкали, по якій визначають цілі міліметри і верхній шкалі, по якій визначають 0,5 мм, коли край барабана перейшов за штрих після цілого міліметра.
4. Здійснюють відлік по другому відліковому пристрою, що складається із шкали з ціною поділки 0,01 мм, нанесеною на конусній поверхні барабана.
5. Визначають розмір деталі підсумовуванням показань двох відлікових пристроїв (цілі і половини мм – по шкалі стебла, а соті частки мм – по шкалі барабана).

Під час читання показань мікрометр слід тримати прямо перед очима, щоб уникнути спотворень результатів вимірювань.

**Наприклад.** Перший відлік на рис. 5.11 складається з двох частин: 58,5 на стеблі і 0,13 на шкалі барабана. Розмір деталі  $58,5 + 0,13 = 58,63$  мм.

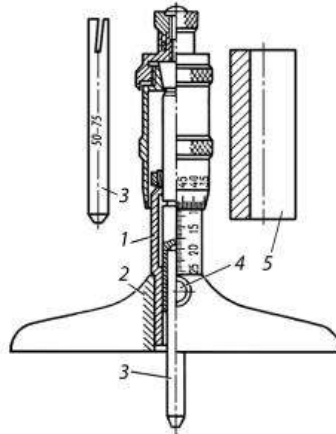
Другий відлік: на стеблі 34,0 на шкалі барабана 0,47. Розмір деталі 34,47 мм.



**Рис. 5.11. Відлік показань на шкалі мікрометра**

### **Призначення, будова, види, характеристика мікрометричного глибиноміра, порядок роботи**

**Мікрометричний глибиномір** (рис. 5. 12) – інструмент призначений для вимірювання глибин пазів і глухих отворів, для вимірювання довжин і висот ступінчастих деталей. Мікрометричні глибиноміри мають таку ж будову, як і мікрометри, тільки замість скоби, мають основу з вимірювальним стержнем, що приводиться в рух мікрометричним гвинтом від тріскачки. Він складається з мікрометричної головки 1, запресованої в основу 2. В отвір на торці мікрогвинта вставляють змінні стержні 3 з розрізними пружинними кінцями зі сферичною вимірювальною поверхнею. Мікрогвинт затискають стопором 4. Для настроювання нульового положення застосовують міри 5.



**Рис. 5.12. Мікрометричний глибиномір**

Мікрометрична головка глибиноміра за принципом дії і конструкцією аналогічна до мікрометричної головки мікрометра але цифри біля штрихів стебла і барабана нанесені у зворотному порядку, порівняно з мікрометрами, оскільки чим більша глибина, тим далі висунений мікрогвинт.

Мікрометричні глибиноміри виготовляються за ISO 3611:2010:

- з відліком показів за шкалами стебла і барабана (ГМ) рис. 5.13;



**Рис. 5.13. Мікрометричний глибиномір тип ГМ**

- з відліком показів по електронному цифровому пристрої та шкалах стебла і барабана (ГМЦ) рис. 5.14.



**Рис. 5.14. Мікрометричний глибиномір тип ГМЦ**

Основа і вимірювальний стрижень загартовані. Кожен мікрометричний глибиномір оснащується комплектами змінних стрижнів для різних діапазонів вимірювань залежно від типу інструменту.

Діапазон вимірювань 0...25, 0...50, 0...75, 0...100, 0...150, 0...300 мм.

Точність вимірювань 0,01 мм з шкалою і 0,001 мм для цифрових.

Глибиноміри випускають 1–го і 2–го класів точності. Допустимі похибки дорівнюють відповідно  $\pm 3$  та  $\pm 5$  мкм у межах вимірювання до 100 мм і  $\pm 4$  та  $\pm 6$  мкм – до 300 мм.

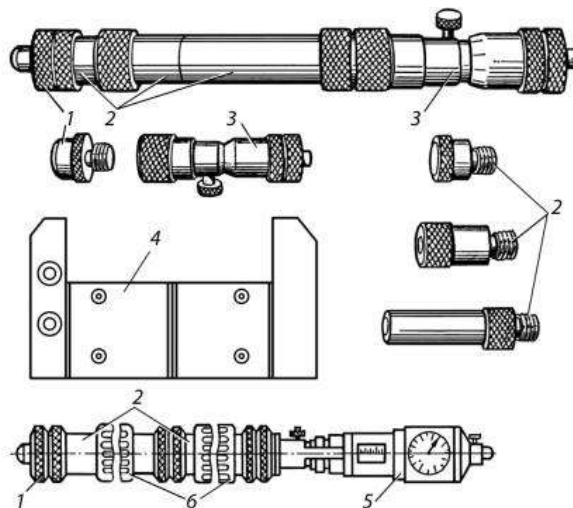
Під час настроювання нульового положення (рис.5.12) торець основи 2 глибиноміра притискають до торця спеціальної встановлювальної міри 5, яку ставлять на плиті. Мікрогвинт 3 притискають до поверхні плити, обертаючи тріскачку. Порядок установа головки на нуль такий самий, як у мікрометрів.

Під час вимірювання мікрометричним глибиноміром одною рукою притискають основу до поверхні деталі, а іншою рукою за допомогою тріскачки в кінці ходу вимірювального стрижня доводять вимірювальний стрижень до контакту з іншою поверхнею деталі і стопорять мікрогвинт.

Відлік показань на шкалі мікрометричної головки глибиноміра такий самий, як у мікрометрів.

### **Призначення, будова, види, характеристика мікрометричного нутроміра, порядок роботи**

**Мікрометричний нутромір (штихмас)** (рис. 5.15) – мікрометричний інструмент для вимірювання внутрішнього діаметра або відстані між двома поверхнями. Він складається з мікрометричної головки 3, комплекту подовжувачів 2 і вимірювальних наконечників 1.



**Рис. 5.15. Мікрометричний нутромір**

Нутроміри виготовляються відповідно ДСТУ ISO 3611:2018 з діапазонами вимірювань 50...75, 75...175, 75...600, 150...1250, 600...2500, 1250...4000, 2500...6000, 4000...10000 мм. Ціна поділки та точність для цих діапазонів становить 0,01 мм.

Нутроміри для вимірювання розмірів понад 2500 мм оснащуються мікрометричною головкою з індикатором годинникового типу 5 за ДСТУ ISO 463:2018 з ціною поділки 0,01 мм, що дозволяє полегшити процес вимірювання. На подовжувачах від 300 мм і більших передбачені теплоізолювальні накладки 6. У комплект нутроміра входить також встановлювальна міра 4.

Похибка вимірювань становить від  $\pm 4$  мкм (для діапазону вимірювань 50...125 мм) до  $\pm 90$  мкм (для діапазону 5000...10000 мм).

Також випускаються трьохточкові нутроміри з цифровою шкалою (рис. 5.16), які мають ціну поділки (точність) 0,01, 0,001 мм і допустимі похибки

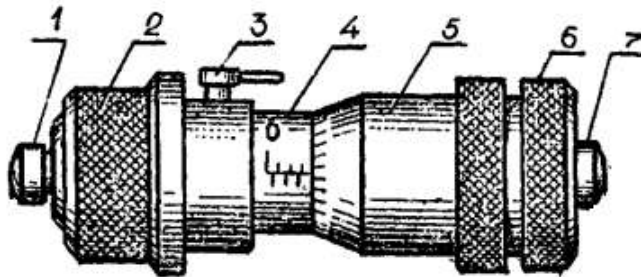
4...7 мкм залежно від діапазону вимірювань. Діапазони вимірювань – від 3,5...4 мм до 175...200 мм.



**Рис. 5. 16. Нутромір з цифровою шкалою**

Перевагою вказаних нутромірів є застосування трьох лінійних вимірювальних опор, які забезпечують оптимальне центрування приладу і положення лінії вимірювання відносно вимірюваних поверхонь.

Мікрометрична головка нутроміра рис. 5.17 складається з стебла 4, мікрометричного гвинта 7 з'єднаного з корпусом барабана 5 гайкою 6. Мікрометричний гвинт закріплюється стопором 3. На різьбу наконечника 1 нагвинчується захисна гайка 2 і змінні подовжувачі 2 (рис. 5.15). На відміну від інших мікрометричних інструментів мікрометрична головка нутроміра немає тріскачки.



**Рис. 5.17. Мікрометрична головка нутроміра**

Встановлення мікрометричного нутроміра на нуль здійснюють по кінцевих мірах на спеціальній скобі.

1. Вводять в скобу мікрометричний нутромір з надітою запобіжною гайкою.

2. Притримуючи нутромір за стебло і обертаючи барабан за накатане кільце, вигвинчують мікрометричний гвинт до зіткнення поверхонь сферичних наконечників із поверхнями скоби або установочних мір.

3. Закріплюють мікрогвинт стопором.

4. Перевіряють встановлення на нуль. При правильному встановленні проти поздовжнього штриха основної шкали повинна знаходитись нульова поділлка шкали барабана.

*Якщо нульова установка неправильна, то необхідно:*

- закріпити мікрометричний гвинт стопором;
- відгвинтити накидну гайку і відрегулювати положення цифрового барабана, добиваючись збігання нульового штриха цифрового барабана з поздовжнім штрихом стебла;

- загвинтити накидну гайку і перевірити встановлення на нуль.

*Вимірювання отворів деталей мікрометричним нутроміром* виконують у такій послідовності:

1. Складають нутромір з подовжувачами необхідних розмірів і перевіряють правильність встановлення на нуль як вказано раніше.
  2. Вводять мікрометричний нутромір у вимірюваний отвір деталі.
  3. Обертаючи накатане кільце барабана, підводять вимірювальні наконечники до зіткнення із стінками отвору.
  4. Стопорять мікрогвинт стопором.
  5. Здійснюють відлік розмірів з урахуванням використаних подовжувачів.
- Відлік показань на шкалі мікрометричної головки нутроміра такий самий, як у мікрометрів.

Більш детально про роботу з мікрометричними інструментами описано в роботах [1, 3, 5].

### П и т а н н я   д л я   с а м о п е р е в і р к и

1. Призначення та види мікрометричного інструменту ?
2. Для чого служать гладкий мікрометр, його будова та межі вимірювання?
3. Яка послідовність дій при вимірюванні мікрометричним інструментом та порядок відліку показань ?
4. Для чого служать мікрометричний глибиномір його пристрій, порядок вимірювання, та відлік результатів вимірювання?
5. Для чого служать мікрометричний нутромір його пристрій, порядок вимірювання, та відлік результатів вимірювання?

## ТЕМА 6 ВАЖІЛЬНО–МЕХАНІЧНІ ПРИЛАДИ

### Основні питання теми

Призначення, принцип роботи, види важільно-механічних приладів.

Призначення, будова, види індикаторів годинникового типу.

Порядок вимірювання та відлік показань вимірювання індикатора годинникового типу.

### Призначення, принцип роботи, види важільно-механічних приладів

**Важільно–механічні вимірювальні прилади** на відміну від штанген– і мікрометричних вимірювальних інструментів призначені переважно для відносних вимірювань. Для абсолютних вимірювань вони застосовуються лише при перевірці відхилень від правильної геометричної форми (відхилень від округлості чи відхилень від циліндричності) або правильною розташування поверхонь (радіального і торцьового биття), а також при вимірюванні невеликих розмірів, що не перевищують меж вимірювання за шкалами цих приладів.

Важільно–механічні вимірювальні прилади працюють за принципом перетворення за допомогою зубчастих, важільно–зубчастих, важільно–прижимних чи важільних механізмів малих переміщень вимірювального стрижня у значно збільшені переміщення вказівної стрілки. Завдяки цьому важільно–механічні вимірювальні прилади можуть мати ціну поділки шкали 0,01; 0,005; 0,002 і навіть 0,001 мм. Залежно від ціни поділок шкали передавальне число цих приладів може становити 100 – для приладів з ціною поділок шкали 0,01 і 1000 – для приладів з ціною поділок 0,001 мм.

Важільно–механічні вимірювальні прилади виготовляються у вигляді універсальних вимірювальних головок, що застосовуються з різними стояками, штативами та іншими пристроями.

За конструктивними ознаками важільно–механічні вимірювальні прилади, які набули найбільшого поширення у виробничих умовах, можна поділити на декілька різновидних груп:

- прилади з зубчастою передачею;
- прилади з важільно–зубчастою передачею;
- прилади з важільною передачею;
- прилади з важільно–пружинним механізмом.

**Вимірювальні прилади з зубчастою передачею** є найбільш поширеними приладами, що застосовуються в практиці технічних вимірювань.

### Призначення, будова, види індикаторів годинникового типу

До приладів з зубчастою передачею належать **індикатори годинникового типу** (рис. 6.1).

Індикатори використовуються для вимірювання лінійних розмірів, визначення величини відхилень від заданої геометричної форми чи взаємного розташування поверхонь відносним і абсолютним, прямим та непрямим, контактним, диференціальним методами. Індикатор може використовуватись також як показувальний пристрій індикаторної скоби, індикаторного глибиноміра або індикаторного нутроміра.



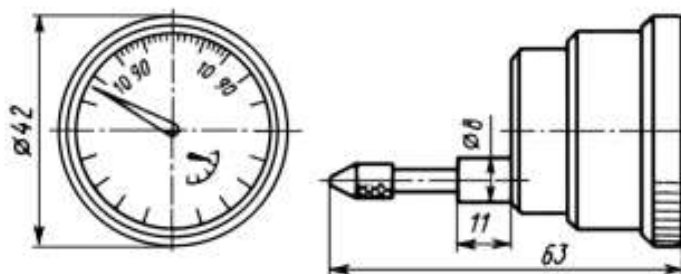
**Рис. 6.1. Індикатор годинникового типу**

Індикатори знайшли застосування у контрольно–вимірювальних операціях у машинобудуванні для проведення вимірів середньої точності у випадку, коли інші засоби вимірювань не забезпечують заданої точності. Використовується у виробництві для контролю точності встановлення предметів обробки на технологічному обладнанні та для контролю відхилень розмірів, форми та взаємного розміщення поверхонь деталей та вузлів.

Відповідно ДСТУ EN ISO 463:2018 промисловість випускає індикатори таких основних типів:

ИЧ2, ИЧ5, ИЧ10 і ИЧ25 – переміщення вимірювального стрижня паралельно до шкали (рис. 6.1), діапазони вимірювань відповідно – 0...2, 0...5, 0...10 і 0...25 з ціною поділки 0,01мм;

ИТ2 – переміщення стрижня перпендикулярно до шкали (рис. 6.2) і діапазон вимірювань 0...2 мм.



**Рис. 6.2. Торцевий індикатор типу ИТ**

Індикатори типу ИЧ5 і ИЧ10 випускають у корпусі з діаметром 60 мм, а індикатори ИЧ2 і ИТ2 – у корпусі з діаметром 42 мм (малогабаритні).

Індикатори типу ИЧ5 і ИЧ10 випускають також у корпусі з діаметром 90 мм з межами вимірювання 0...5 мм (ИЧ–5) при ціні поділок 0,01 мм і 0...10 мм (ИЧ–10)

при ціні поділок 0,1 мм. Випускаються також індикатори з межами вимірювання 0...25 і 0...50 мм і індикатори підвищеної точності з межами вимірювання 0...2 мм з ціною поділок 0,002 мм та цифрові годинникові індикатори (рис. 6.3) з ціною поділки та точністю 0,01 та 0,001 мм. Індикатори годинникового типу випускають класів точності 0 і 1.



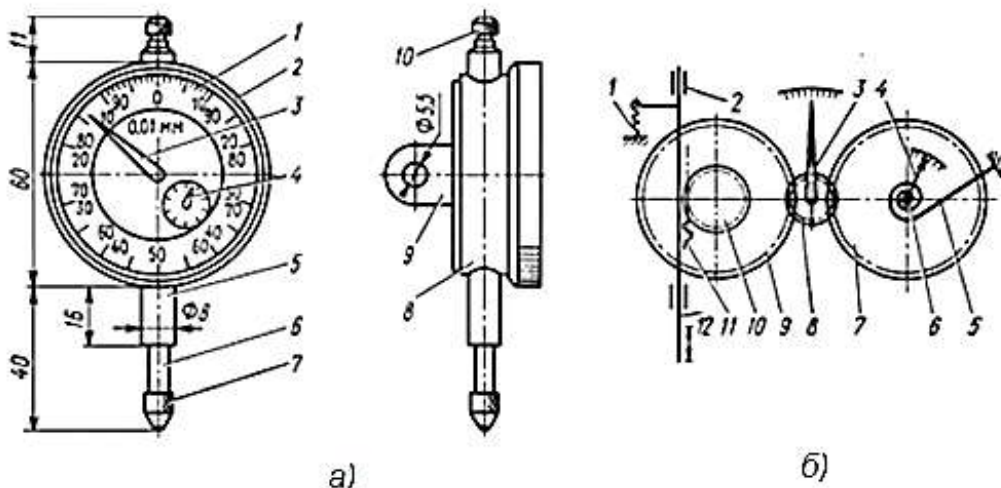
**Рис. 6.3. Цифрові годинникові індикатори**

Виготовляються також індикатори, які мають два вимірювальних стрижні (рис. 6.4), один з яких переміщується перпендикулярно до площини шкали, а другий – паралельно. Така конструктивна особливість розширює можливість застосування приладу.



**Рис. 6.4. Індикатор годинникового типу з двома вимірювальними стрижнями**

Будову та принципову схему індикатора типу ИЧ показано на рис. 6.5, а.



**Рис. 6.5. Індикатор годинникового типу ИЧ**

*Основні вузли індикатора:* циферблат 1 зі шкалою, обідок 2, стрілка 3, покажчик 4 числа обертів стрілки, гільза 5, вимірювальний стрижень 6 із наконечником 7, корпус 8, вушко 9 та головка 10 стрижня. Гільза і вушко служать для кріплення індикатора на стояках, штативах і пристосуваннях. Поворотом обідка 2, на якому закріплений циферблат, стрілку суміщають із будь-якою поділкою шкали. За головку 10 стрижень відводять при встановленні виробу під вимірювальний наконечник.

Принцип дії індикаторів годинникового типу заснований на перетворенні поступального руху вимірювального стрижня в обертальний рух стрілки за допомогою рейково-зубчастої передачі (рис. 6.5, б). Вимірювальний стрижень 12 переміщується в точних втулках напрямних 2, запресованих у гільзи корпусу. На стрижні нарізана зубчаста рейка 11, яка повертає триб 10 із числом зубів  $z = 16$  (трибом у приладобудуванні називають шестерню). Зубчасте колесо 9 ( $z = 100$ ), встановлене на одній осі з трибом 10, передає обертання трибу 8 ( $z = 10$ ). На осі триба 8 закріплено стрілку 3. У зачепленні з трибом 8 знаходиться також зубчасте колесо 7 ( $z = 100$ ), на осі якого закріплені покажчик 4 і втулка 6 із пружинним волоском 5, інший кінець якого прикріплений до корпусу. Колесо 7 під дією волоска забезпечує роботу всієї передачі приладу на одному боці профілю зуба і тим самим усуває мертвий хід передачі. Пружина 1 створює вимірювальне зусилля на стрижні.

Передавальне відношення зубчастого механізму виконане так, що при переміщенні вимірювального стрижня на відстань  $l = 1$  мм стрілка здійснює повний оберт, а покажчик повертається на одну поділку. Шкала індикатора має число поділок  $n = 100$ . Ціна поділки шкали циферблата  $C = l/n = 1/100 = 0,01$  мм.

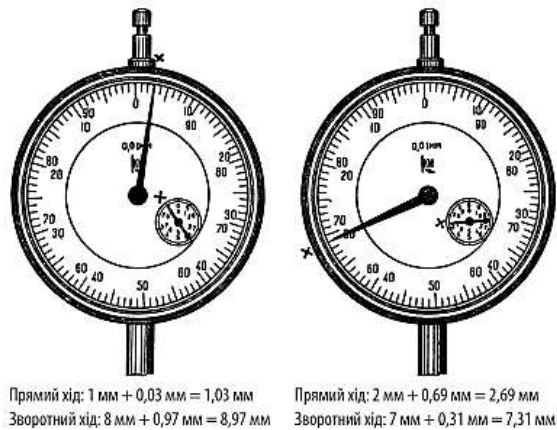
### **Порядок вимірювання та відлік показань вимірювання індикатора годинникового типу**

*Загальний порядок роботи з індикатором годинникового типу:*

- попередньо необхідно встановити на «нуль» циферблат (по еталонній деталі);
- вимірювальний стрижень вручну піднімається, між підставою штатива і твердосплавним наконечником поміщається вимірювана деталь;
- вимірювальний стрижень опускається на поверхню деталі, шкала індикатора показує, наскільки (у сотих частках міліметра) розміри вимірюваної деталі відрізняються від еталонної.

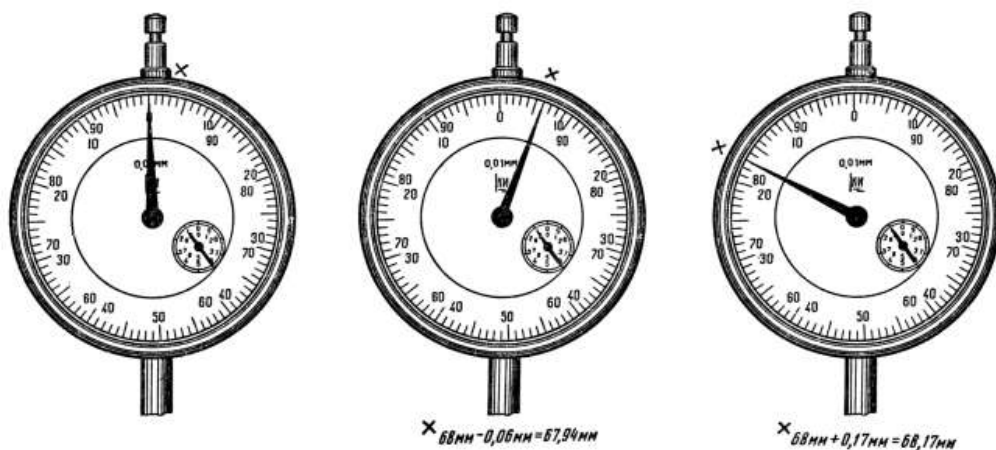
*Читання показань.* (рис. 6.6).

Ціле число міліметрів відлічують за стрілкою покажчика обертів за малою шкалою. Соті частки міліметра відлічують за стрілкою великої шкали. При підйомі вимірювального стрижня (прямий хід) показання читають по зовнішніх цифрах великої шкали (збільшення за годинниковою стрілкою). При опусканні вимірювального стрижня (зворотний хід) показання читають по внутрішніх цифрах великої шкали (збільшення проти годинникової стрілки).



**Рис. 6.6. Читання показань**

Вимірювання виконують у такому порядку: підвівши наконечник приладу, встановлюють на стіл або плиту виріб; потім опускають наконечник на поверхню виробу і виконують відлік показань. За покажчиком числа обертів малої стрілки знаходять число міліметрів у розмірі. Дробова частка розміру дорівнює числу поділок циферблата проти стрілки, помноженому на  $C = 0,01 \text{ мм}$ . При обертанні великої стрілки проти годинникової стрілки відлік за індикатором додають із довжиною блоку кінцевих мір, у іншому разі – віднімають (рис. 6.7).



**Рис. 6.7. Підрахунок дійсних розмірів**

Більш детально про роботу індикаторів годинникового типу дивись [1, 3].

Призначення, будова, різновиди, особливості роботи інших важільно-механічних вимірювальних приладів дивись [1, 3].

### Питання для самоперевірки

1. Призначення та види важільно-механічних вимірювальних приладів?
2. Для чого служать індикатор годинникового типу, його будова, види, межі вимірювання?
3. Порядок вимірювання, та відлік результатів вимірювання індикатором годинникового типу?

# ТЕМА 7 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНШИХ НАЙБІЛЬШ ВИКОРИСТОВУВАНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ. СУЧАСНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ЗАСОБИ

## Основні питання теми

Методи і засоби контролю метричних різьб.  
Контроль шпонкових та шліцьових з'єднань.  
Контроль зубчастих коліс та передач.  
Контроль форм и розташування поверхонь.  
Контроль шорсткості поверхонь.  
Огляд сучасних вимірювальних засобів.

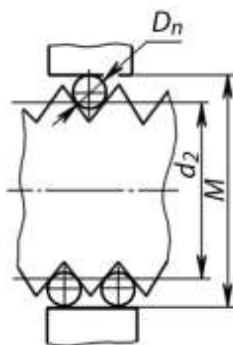
### Методи і засоби контролю метричних різьб

Для контролю метричних різьб застосовують **диференційний** (поелементний) і **комплексний** методи.

При **диференційному** контролі різьб перевіряють окремі елементи різьби: середній діаметр, крок і половину кута профілю. Висновок про придатність різьби роблять по кожному елементу окремо. Цей складний і трудомісткий вид контролю використовують для контролю точних різьб, калібрів–пробок, різьбового інструменту, а також при визначенні причин браку і налагоджуванні технологічного обладнання.

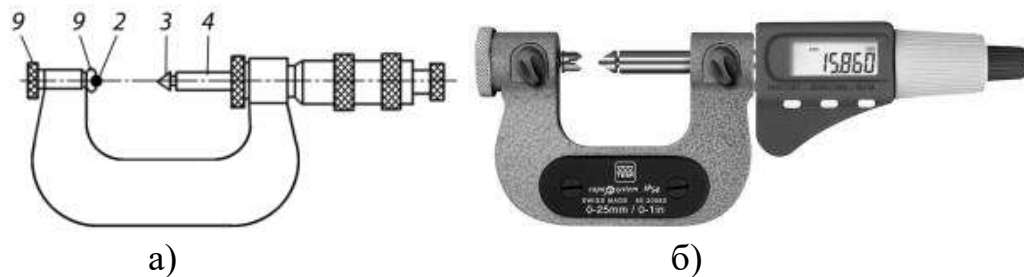
*Середній діаметр* різьби відповідальних різьб звичайно перевіряють на інструментальному або універсальному мікроскопах, а також з допомогою оптиметра, контактного інтерферометра, довжиноміра і т. ін.

Поширився також метод контролю середнього діаметра точних різьб і мітчиків за допомогою **трьох дротинок**. Три дротинки певного діаметра вкладають в западини різьби (рис. 7.1) і визначають мікрометром, мініметром або оптиметром розмір  $M$ .



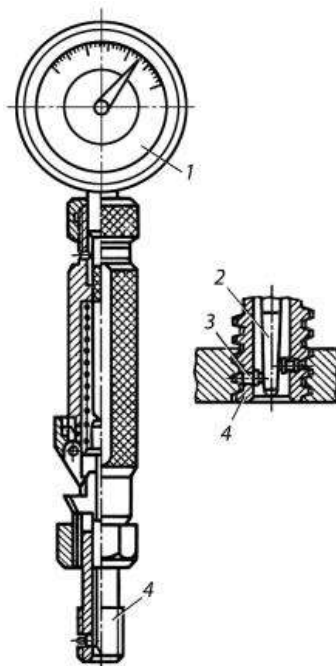
**Рис. 7.1. Визначення середнього діаметра різьби методом трьох дротинок**

При відносно неточних вимірюваннях середнього діаметра користуються різьбовим мікрометром (рис. 7.2).



**Рис. 7.2. Різьбовий мікрометр:**  
а) – аналоговий; б) – цифровий

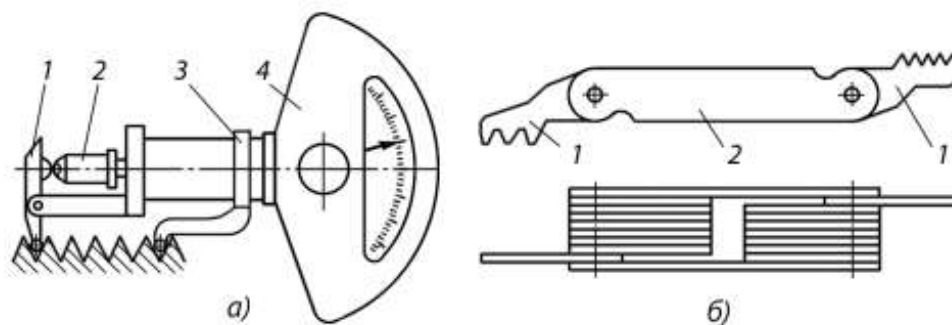
Для контролю внутрішньої різі застосовують індикаторний нутромір із кульовими вставками (рис. 7.3).



**Рис. 7.3. Прилад для вимірювання внутрішньої різби**

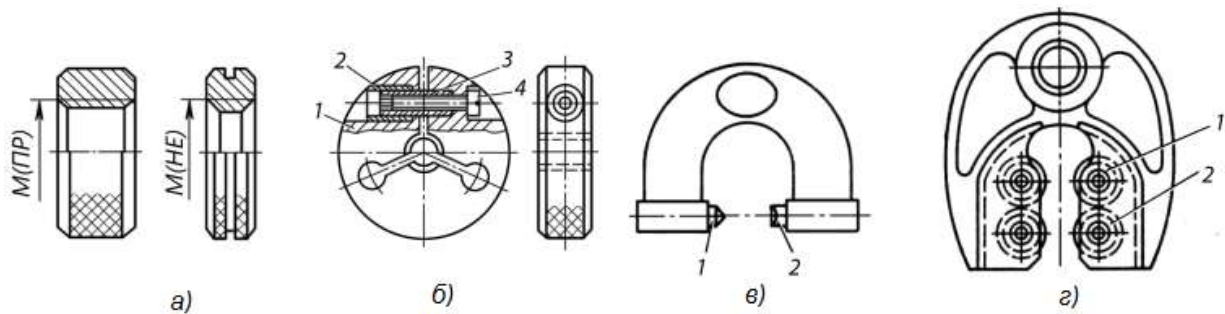
Вимірювання *кроку різби* різьбових калібрів, мітчиків, відповідальних різьбових деталей проводиться на інструментальному мікроскопі.

У ремонтному виробництві крок кріпильної різби перевіряють за допомогою крокомірів та різьбових шаблонів – різьбомірів (рис. 7.4).



**Рис. 7.4. Контроль кроку різби:**  
а) – крокомір; б) – різьбомір

**Комплексний контроль** різьб забезпечується використанням різьбових граничних калібрів: *різьбових кілець* або *скоб* (рис. 7.5) – для комплексної перевірки зовнішньої різьби, *різьбових пробок* – для комплексної перевірки внутрішньої різьби (рис. 7.6).



**Рис. 7.5. Комплексний контроль зовнішньої різьби:**

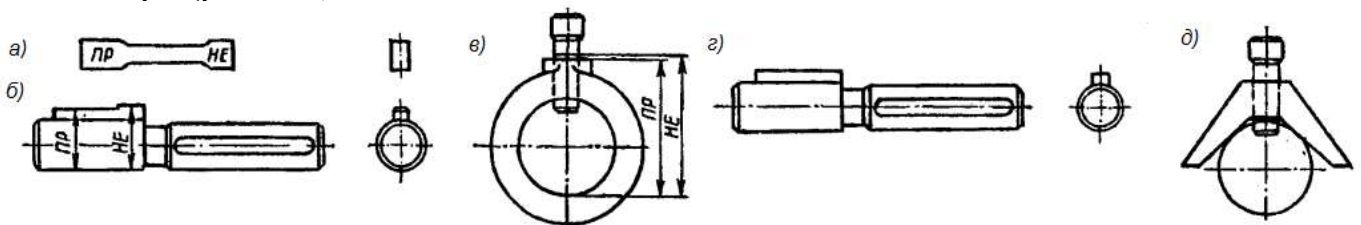
- а) – жорсткі односторонні кідця;
- б) – регульовані кільця;
- в) – жорсткі скоби;
- г) – роликові регульовані скоби



**Рис. 7.6. Комплексний контроль внутрішньої різьби різьбовими пробками**

### Контроль шпонкових та шліцевих з'єднань

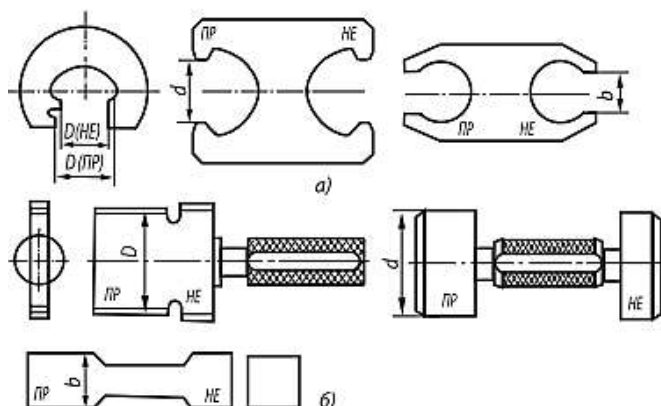
Для контролю шпонкових з'єднань можна використовувати як універсальні засоби вимірювання, так і калібри. При дефектації можна застосовувати універсальні засоби вимірювання (штангенциркулі, мікрометри), а при серійному і масовому виробництві та відновленні шпонкових пазів бажано використовувати граничні калібри (рис. 7.7).



**Рис. 7.7. Засоби контролю шпонкових з'єднань:**

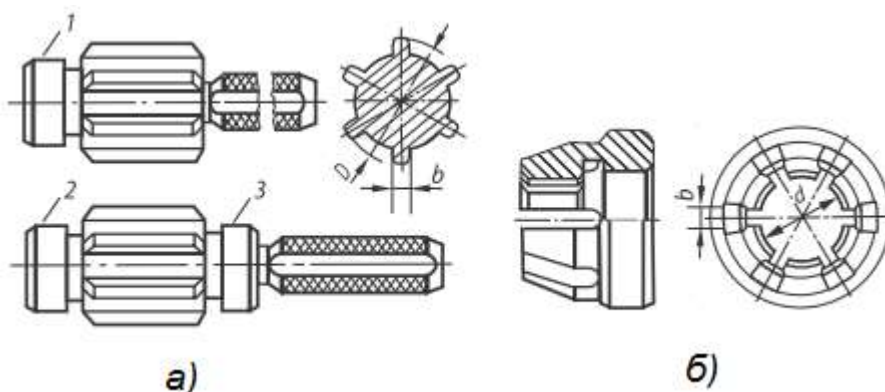
- а) – калібр–пластина для контролю шпонкових пазів вала і втулки;
- б) – калібр з ступінчастою шпонкою для контролю розміру  $d+t_2$  втулки;
- в) – кільцевий калібр для контролю розміру  $d-t_1$ : вала;
- г) – калібр–пробка з шпонкою; д) – накидна призма

Шліцьові вироби перевіряють **диференційованим** або **комплексним** способом. Для **диференційованого** контролю зовнішнього і внутрішнього діаметрів і товщини зубів зовнішніх шліців застосовують *граничні калібри-скоби* (рис. 7.8, а), а для перевірки розмірів внутрішніх шліців – *граничні калібри-пробки* (рис. 7.8, б).



**Рис. 7.8. Поелементні калібри для шліцьових виробів:**  
а) – скоби; б) – пробки

При комплексному контролі перевіряють сумарні відхилення товщини зубів валів і ширини заглиблень втулок *прохідними калібрами-пробками* (рис. 7.9, а) і калібрами-кільцями (рис. 7.9, б) (ДСТУ ISO 286-1 + ДСТУ ISO 286-2 + ДСТУ ISO 1938-2 + ДСТУ ISO 1938-1)



**Рис.7.9. Комплексні калібри для шліцьових виробів:**  
а) – пробки; б) – кільце

### Контроль зубчастих коліс та передач

Зубчасті колеса, як і інші вироби, після виготовлення піддають приймальному контролю, при якому визначають відповідність точності зубчастого колеса встановленим вимогам.

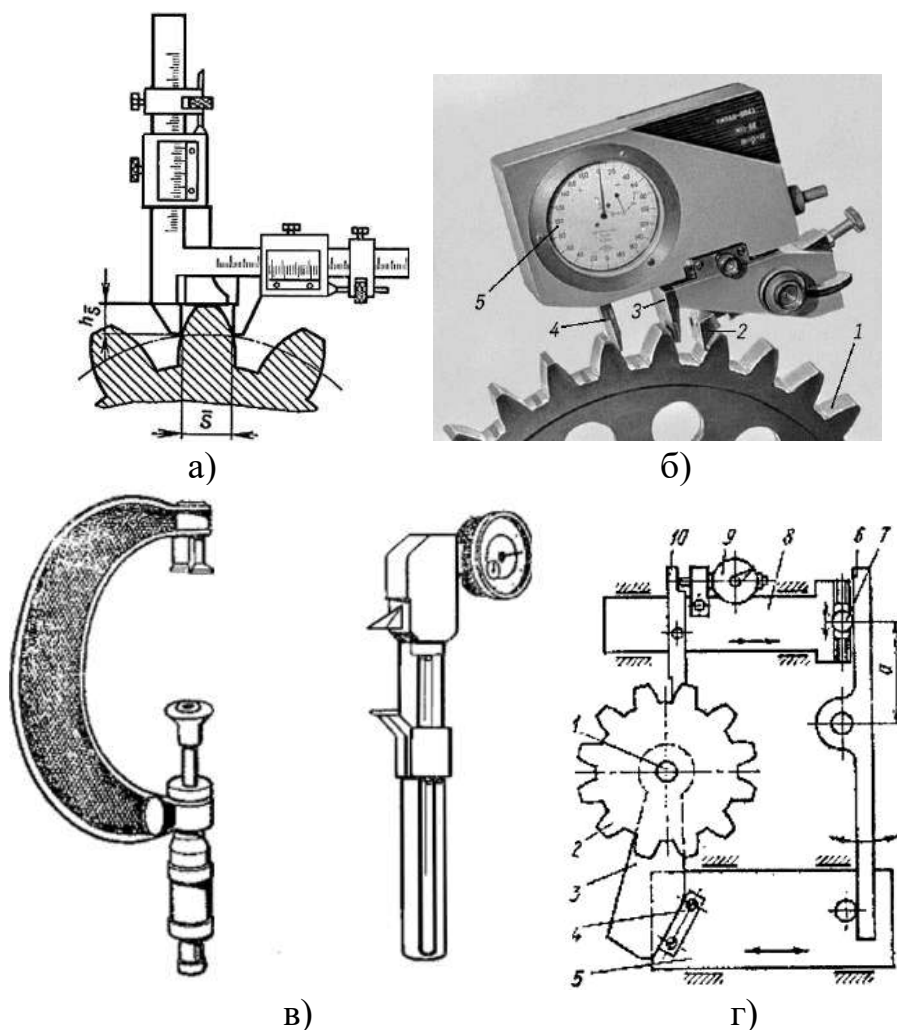
При контролі точності зубчастих коліс перевіряють показники, що визначають кінематичну точність, плавність роботи, повноту контакту зубців і величину бічного зазору між неробочими сторонами зубців.

Контроль зубчастих коліс може бути **комплексним** або **диференційованим** (поелементним). При **комплексному методі** контролювання контролюють комплексні показники точності зубчастих коліс у зачепленні з вимірювальними зубчастими колесами. При цьому перевіряють ступінь сталості передаточного числа при обертанні зачепленої пари коліс.

При **диференційованому** (поелементному) контролі перевіряють елементні (окремі) показники точності зубчастих коліс.

Комплексні показники забезпечують більш якісне контролювання і їй слід віддавати перевагу, особливо для коліс 3...6-го ступенів точності. Елементні показники забезпечують дещо гіршу якість контролювання, тому їх застосовують переважно для коліс 6...9 ступенів точності.

Для контролю зубчастих коліс застосовується велика кількість різноманітних вимірювальних засобів: засоби для визначення кінематичних похибок; міжцентроміри; штангензубоміри (для контролю товщини зубця рис. 7.10, а); тангенціальні зубоміри (контролюють зміщення вихідного контуру); штангенциркулі; крокоміри (7.10, б); мікрометричні зубоміри та індикаторні нормалеміри (для вимірювання загальної нормалі рис. 7.10, в); евольвентоміри (для контролю профіля зубця 7.10, г).



**Рис. 7.10. Засоби для контролю зубчастих коліс:**

- а) – штангензубомір; б) – крокомір;  
 в) – мікрометричний зубомір та індикаторний нормалемір; г) – евольвентомір

## Контроль форм и розташування поверхонь

Для контролю форм та розташування поверхонь виробів засовують різноманітні інструменти та засоби: повірочні, лекальні лінійки (рис. 7.11. а), кутники (рис. 7.11. б), повірочні плити (рис. 7.11. в), рівні (рис. 7.11. г), гідростатичні рівні (рис. 7.11. д), кругломіри (рис. 7.11. е) індикатори годинникового типу (рис. 6.1- 6.4. ), оптичні квадранти (рис. 7.11. ж), різноманітні калібри (рис. 3.6- 3.10) тощо. Більш детально дивись [1, 3].

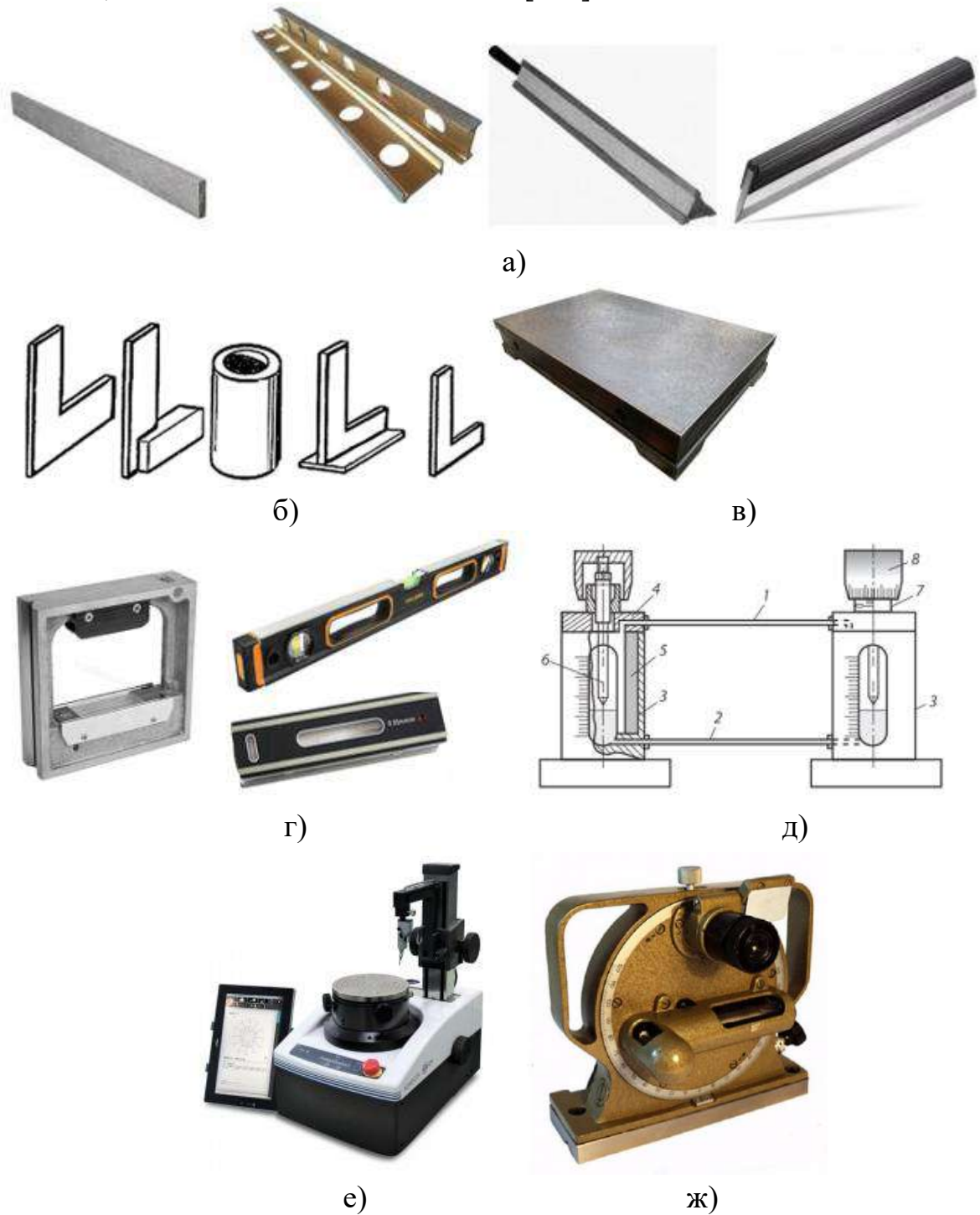


Рис. 7.11. Інструменти для контролю форми і розташування поверхонь

## Контроль шорсткості поверхонь

Контролювання шорсткості поверхонь здійснюється двома основними методами:

Порівнянням реальної поверхні виробу з робочими зразками шорсткості, які мають стандартні значення параметра  $Ra$  (ДСТУ ISO 2632-1) (рис. 7.12) і виготовляються для певних способів оброблення. Зразки шорсткості являють собою набір пластин або зразкових деталей, які оброблені з певною шорсткістю.

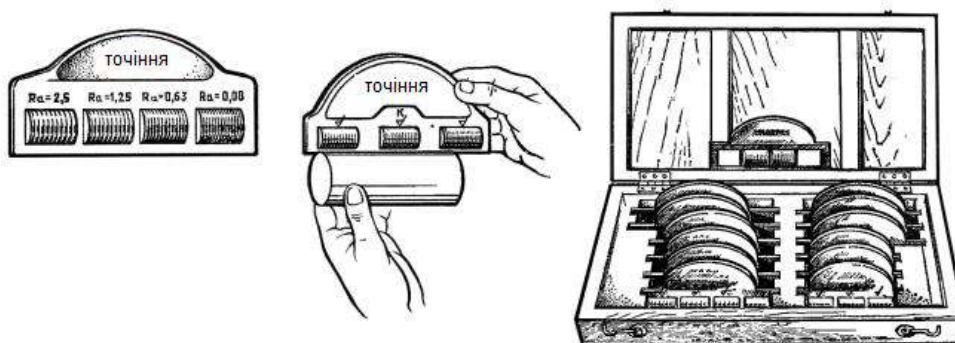


Рис. 7.12. Зразки шорсткості поверхні

Цей метод є простим і доступним. Для підвищення точності порівняльної оцінки використовують порівняльні мікроскопи, у яких поряд ставлять зразок і контрольовану деталь.

Замість зразків шорсткості можуть бути застосовані атестовані зразкові деталі. Цей метод найчастіше застосовують при одиничному виробництві в ремонтних майстернях.

2. Вимірюванням параметрів шорсткості за допомогою щупових або оптичних приладів. Числові значення параметрів шорсткості визначаються або безпосередньо за шкалою приладу (стаціонарних та портативних профілометрів рис. 7.13, а, б) або за збільшеним зображенням профілю чи записаній профілограмі профілографів (рис. 7.13, в). Більш детально дивись [1, 3].



Рис. 7.13. Прилади для контролю шорсткості поверхонь:

- а) стаціонарний профілограф-профілометр; б) – портативний профілометр;  
в) – профілограф

Також для вимірювання розмірів виробів, відхилення форм та поверхонь в промисловості застосовується і багато інших вимірювальних пристроїв це:

- оптичні та оптико–механічні вимірювальні прилади (оптикатори, оптиметри, довжиноміри, вимірювальні машини, контактні інтерферометри, вимірювальні мікроскопи (рис. 7.14) і проектори;
- пневматичні прилади (довжиноміри);
- автоматичні прилади (датчики) та інші.

Призначення, будова, різновиди, особливості роботи цих вимірювальних приладів описані в роботах [1, 3].



**Рис. 7.14. Сучасний інструментальний мікроскоп**

### **Огляд сучасних вимірювальних засобів**

Застосування сучасного обладнання на виробництві вимагає значного підвищення продуктивності, надійності його роботи, а також якості та точності виготовлення. Одним із способів реалізації цих вимог, є застосування сучасних вимірювальних засобів, як при автоматизованому виробництві обладнання так і при його ремонті.

Сучасні вимірювальні засоби дозволяють значно підвищити якість, точність, достовірності, зручність, вимірювань, зменшити час на вимірювання, спростити операції з вимірювання завдяки застосуванням новітніх технологій, обладнання, різноманітних датчиків, комп'ютерної техніки та програм.

Сучасні вимірювальні засоби можна розділити на дві основні групи:

**стаціонарні та портативні**, в яких застосовують **кантактні та безконтактні** методи вимірювання.

При автоматизованому масовому та серійному виробництві застосовують більш дорогі стаціонарні, частіше комплексні сучасні вимірювальні засоби. При одиничному виробництві, та ремонті застосовують більш зручні, відносно не дорогі, компактні – портативні сучасні вимірювальні засоби.

Приклади сучасних вимірювальних засобів:

цифровий та комп'ютеризований штанген та мікроінструмент (див. рис. 4.6, 5.7, 5.14, 5.16, 7.2, б);

цифрові індикатори (див. рис. 6.3);

профілометри та профілографи (див. рис. 7.13);

інструментальні мікроскопи (див. рис. 7.14);

лазерні далекоміри (рулетки), кутоміри, нівеліри (рис. 7.15), та інші сучасні вимірювальні засоби.



**Рис. 7.15. Лазерні вимірювальні засоби:**  
а) – далекомір; б) – нівелір; в) – кутомір

### П и т а н н я д л я с а м о п е р е в і р к и

1. Які методи та засоби використовують для контролю метричних різьб?
2. Які засоби застосовують для контролю шпонкових з'єднань?
3. Які засоби застосовують для контролю шліцьових з'єднань?
4. Які засоби застосовують для контролю зубчастих коліс та передач?
6. Які засоби та інструменти застосовують для контролю форм та розташування поверхонь?
7. Як здійснюється контроль шорсткості поверхонь?
8. Приведіть приклади сучасних вимірювальних засобів.

## ДОДАТКИ

Додаток А

### Деякі співвідношення позасистемних одиниць з одиницями СІ

Позасистемні одиниці	Одиниці системи СІ
<b>Одиниці довжини</b>	
1 міліметр, мм	$10^{-3}$ м;
1 сантиметр, см	$10^{-2}$ м
1 мікрон, мк	1 мікрометр, мкм = $10^{-6}$ м
1 м = 1000 мм = 100 см; 1 см = 10 мм; 1 мкм = 0,001 мм ( $10^{-3}$ мм)*	
<b>Одиниці площі</b>	
1 квадратний міліметр, мм <sup>2</sup>	$10^{-6}$ м <sup>2</sup>
1 квадратний сантиметр, см <sup>2</sup>	$10^{-4}$ м <sup>2</sup>
<b>Одиниці статичного моменту і моменту опору плоского перетину</b>	
1 сантиметр в кубі, см <sup>3</sup>	$10^{-6}$ м <sup>3</sup>
Одиниці моменту інерції плоского перетину	
1 сантиметр в четвертому ступені, см <sup>4</sup>	$10^{-8}$ м <sup>4</sup>
<b>Одиниці маси</b>	
1 тонну, т	1000 кг
1 кг = 1000 г*	
<b>Одиниці сили, навантаження, ваги</b>	
1 кілограм – сила, кГ; кгс	9,80665 ≈ 9,81 ≈ 10 Н
1 тонн – сила, Т; тс	9806,65 ≈ 9810 ≈ 104 Н
<b>Одиниці моменту сили, пари сил</b>	
1 кілограм – сила – метр, кГм; ·кгсм	9,80665 ≈ 9,81 ≈ 10 Н·м
1 кілограм – сила – сантиметр, кГсм; ·кгссм	0,0980665 ≈ 0,0981 ≈ 0,1 Н·м
1 Нм = 1000Нмм*	
<b>Одиниці потужності</b>	
1 кілограм – сила – метр секунду, кГ·м/с; кг·см/с	9,80665 ≈ 9,81 ≈ 10 Вт
1 кінська сила, к.с.	≈ 736Вт
1 кВт = 102 кг·см = 1,36 к.с.*	
<b>Одиниці механічного напруження, тиску</b>	
1 кілограм – сила на квадратний сантиметр, кГ/см <sup>2</sup> ; кгс/см <sup>2</sup>	98066,5 Па ≈ 0,1МПа
1 кілограм – сила на квадратний міліметр, кГ/мм <sup>2</sup> ; кгс/мм <sup>2</sup>	9806650 Па ≈ 10 МПа
1 атмосферу, ат	101325 Па ≈ 0,1МПа
1 ат = 1кгс/см <sup>2</sup> ; 1 Н/мм <sup>2</sup> = 1 МПа*	
<b>Одиниці об'єму</b>	
1 літр, л	$10^{-3}$ м <sup>3</sup>
1000 л = 1 м <sup>3</sup> *	

Примітка. \* Співвідношення часто використовували при розрахунках

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базієвський С. Д., Дмитришин В. Ф. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: підручник. Київ : видавничий дім “Слово”, 2004. 504 с.
2. Сірий І.С. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання (2-е видання доповнене і перероблене: підручник. Київ : Аграрна освіта, 2009. 353 с.
3. Набродов В. З. Допуски, посадки та технічні вимірювання: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти. Київ: Літера ЛТД, 2019. 224 с.
4. Железна А. О. Кирилович В. А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: навчальний посібник. Київ : Кондор, 2009. 796 с.
5. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є.С. Поліщук та ін. 2-е вид., доп. та переробл. Львів : Львівська політехніка, 2012. 544 с.
6. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Поліщук Є.С та ін. ; за ред. проф. Є.С. Поліщука. Львів : Бескид Біт, 2003. - 544 с.
7. Малишев В.В., Косенко В.А., Кадомський С.В. Взаємозамінність, стандартизація, технічні вимірювання та сертифікація. Київ : Університет «Україна», 2017. 292 с.
8. Адаменко Ю.І., Герасимчук О.М., Майданюк С.В., Мініцька Н.В, Пасічник В.А., Плівак О.А. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 : навч. посібн. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. 164 с.
9. Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація : навч. посібник. 3- те вид., доп. Київ : Знання, 2006. 242 с.
10. Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Долгополов В.П., Грумінська Л.В. Метрологія та вимірювальна техніка: навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 252 с.
11. Про метрологію та метрологічну діяльність: Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII (в редакції від 03.12.2020 р.)  
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>  
(дата звернення: 23.03.2026 р.).
12. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення. З Поправкою (ІПС № 8-96). [Чинний від 1995-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 68 с. (Інформація та документація).
13. Про затвердження визначень основних одиниць SI, назв та визначень похідних одиниць SI, десяткових кратних і частинних від одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх позначень та Правил застосування одиниць вимірювання і написання назв та позначень одиниць вимірювання SI : Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 04.08.2015 № 91. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1023-15> (дата звернення: 22.03.2026).
14. ДСТУ ISO 80000-1:2016. Величини та одиниці. Частина 1. Загальні положення [Чинний від 2016-09-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 28 с. (Інформація та документація).
15. ДСТУ ISO 80000-3:2016. Величини та одиниці. Частина 3. Простір і час [Чинний від 2016-09-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 24 с. (Інформація та документація).
16. ДСТУ ISO 80000-4:2016. Величини та одиниці. Частина 4. Механіка [Чинний від 2016-09-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 32 с. (Інформація та документація).

17. ДСТУ ISO 3650:2009. Геометричні характеристики виробів (GPS). Кінцеві міри довжини (ISO 3650:1998, IDT) [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2009. 32 с. (Інформація та документація).
18. ДСТУ ISO 1938-1:2016. Геометричні характеристики виробів (GPS). Контроль розмірів. Частина 1. Граничні калібри для лінійних розмірів (ISO 1938-1:2015, IDT) [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 24 с. (Інформація та документація).
19. ДСТУ EN ISO 13385-1:2022. Геометричні характеристики виробів (GPS). Обладнання для вимірювання розмірів. Частина 1. Штангенциркулі. Конструктивні характеристики та метрологічні характеристики [Чинний від 2023-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2022. 24 с. (Інформація та документація).
20. ДСТУ ISO 3611:2019. Геометричні характеристики виробів (GPS). Засоби вимірювальної техніки. Мікрометри для вимірювання зовнішніх розмірів. Конструктивні та метрологічні характеристики [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2019. 28 с. (Інформація та документація).
21. ДСТУ EN ISO 463:2018. Геометричні характеристики виробів (GPS). Засоби вимірювальної техніки. Індикатори годинникового типу. Конструктивні характеристики та метрологічні характеристики (EN ISO 463:2006, IDT) [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 24 с. (Інформація та документація).