

Міністерство освіти і науки України

Державний університет "Житомирська політехніка"

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

## **МЕТРОЛОГІЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ**

### **Лекція №4 на тему:**

#### **Основи теорії вимірювань. Засоби технічних вимірювань.**

1. Організаційні основи забезпечення єдності вимірювань (ОЄВ).
2. Технічні основи ОЄВ.
3. Державний метрологічний контроль і нагляд.
4. Фізичні величини, методи і засоби їх вимірювань, обробка результатів вимірювань.
5. Вибір засобів вимірювань за точністю.

# 1. Технічне вимірювання та контроль

**Метрологія** – наука про вимірювання. 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.

**Вимірювання** – це порівняння вимірюваної величини з відомою, прийнятою за одиницю з використанням технічних пристроїв.

Результатом вимірювання є **розмір** – 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.

Технічні вимірювання є органічною частиною всього технологічного процесу. У машинобудуванні вони становлять 15% від загальної трудомісткості виготовлення виробів.

## 2. Похибки вимірювання.

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

- об'єкт вимірювання,
- суб'єкт вимірювання,
- спосіб вимірювання,
- засіб вимірювання,
- умови вимірювання.

**Об'єкт вимірювання** повинен бути вивчений. Тобто, перед вимірюванням необхідно уявити собі модель об'єкта, що досліджується. Чим повніше модель відповідає вимірюваному об'єкту, тим точніше буде результат вимірювання.

Наприклад, при вимірюванні діаметра вала повинна бути впевненість, що він має циліндричну форму. Якщо такої впевненості немає, то треба перевірити вимірюванням відсутність овальності і конусоподібності.

**Суб'єкт** – людина, що здійснює вимірювання, вносить в результат вимірювання елемент суб'єктивізму. Зменшити вплив суб'єктивного фактору можна підвищивши кваліфікацію вимірювача, забезпечуючи його психофізичний стан, дотримуючись ергономічних вимог тощо. Тому до вимірювань допускаються особи, що пройшли спеціальну підготовку, що мають відповідні знання, вміння і практичні навички. Тобто, суб'єкт повинен бути навчений.

**Способи вимірювання** можуть давати цілком різні результати. Однак є певні способи, які можуть підвищити точність вимірювання, це способи заміщення, проти поставлення, компенсації фактору, що впливає по знаку, симетричних вимірювань та ін.

**Засоби вимірювання** можуть давати постійно завищені або постійно занижені показання, володіють інерційністю, можуть самі бути збуджуючими факторами. Ці особливості виявляються при їх атестації – всебічному метрологічному дослідженні засобу вимірювання, в процесі якого його показники порівнюються з показниками більш точного засобу вимірювання.

**Умови вимірювання** – температура, вологість, атмосферний тиск, тряска, вібрації та інші фактори, також впливають на результат вимірювання. Якщо ці фактори виключити неможливо, то застосовують вказані вище способи, щоб виключити або зменшити їх вплив і підвищити точність вимірювань.

Похибка методу вимірювань визначається сукупністю впливу, головним чином, наступних факторів:

- похибки показів вимірювального засобу;
- похибки кінцевих мір (або зразків), за якими встановлюється прилад;
- похибки, що викликана при вимірюванні відхиленням температури від нормальної ( $20^{\circ}$ );
- похибки, що викликана вимірювальним зусиллям приладу;
- похибки, пов'язаної зі станом поверхні об'єкта вимірювання.

Таким чином, похибка показів вимірювальних приладів є тільки однією зі складових похибки методу вимірювань, і при виборі універсальних вимірювальних засобів потрібно враховувати значення похибки метода вимірювань.

Похибка показів власне вимірювального засобу і його вимірювальне зусилля обмежуються відповідними стандартами і наводяться в паспортах приладів.

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 **абсолютні** та **відносні** похибки.

**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.

**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

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

### 3. Класифікація методів і засобів вимірювання

**Одиниці вимірювання.** Вимірювання в машинобудуванні і ремонті охоплює головним чином геометричні параметри – лінійні, діаметральні та кутові розміри, форму, шорсткість поверхонь.

В Україні з 1963 р. введена для переважного застосування Міжнародна система одиниць вимірювання (ДСТУ ISO 80000-1:2016 «Величини та одиниці. Частина 1. Загальні положення») – **Система СІ (SI)** (Système international d'unités).

У системі СІ за одиницю довжини прийнятий метр – довжина, що дорівнює 1650763,3 довжини хвилі у вакуумі вимірювання, що відповідає оранжевій лінії спектра Криптоніу 8в.

За кутову одиницю прийнятий градус, що дорівнює  $1/360$  частині кола.

### 3.1. Методи вимірювання

**Методи вимірювання** – це сукупність прийомів, використання принципів і засобів вимірювання. Існує кілька методів вимірювання. По співвідношенню показання приладу і значення вимірюваного розміру розрізняють **абсолютний і відносний** методи.

**Абсолютний** – це метод вимірювання, при якому по шкалі відразу зчитують абсолютне значення вимірюваного розміру, наприклад, вимір штангенциркулем, 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 і непрямий методи**.

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

**Непрямий метод (посередній 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** і **безконтактний** методи.

**Контактне вимірювання** забезпечується безпосереднім дотиком вимірювальних поверхонь приладу або інструменту до поверхні деталі.

При **безконтактному вимірюванні** відсутній контакт вимірювальних поверхонь приладу або інструмента і деталі.

За кількістю елементів, що перевіряються, розрізняють **диференційований** і **комплексний** методи.

**Диференційоване (по елементне) вимірювання** характеризується незалежним вимірюванням кожного параметру (наприклад, вимірювання власне середнього діаметра, кроку і кута профілю різні тощо).

**Комплексне вимірювання** дозволяє оцінювати придатність усіх параметрів виробу (наприклад, вимірювання чи контроль граничними калібрами, різбових шліцьових поверхонь тощо).

### 3.2. Засоби вимірювання.

Засоби технічних вимірювань 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).

**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.

**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.

**Вимірювальні прилади** – це засоби вимірювання, які дозволяють одержувати вимірювальну інформацію у формі, зручній для сприйняття користувачем. Розрізняються вимірювальні прилади прямої дії і прилади порівняння.

**Прилади прямої дії** відображають вимірювану величину на засобах візуалізації, що мають відповідне градування в одиницях цієї величини.

**Прилади порівняння** призначаються для порівняння вимірюваних величин з величинами, значення яких відомі.

**Вимірювальні установки і системи** – це сукупність засобів вимірювання, об'єднаних за функціональною ознакою з допоміжними пристроями для вимірювання однієї чи декількох фізичних величин об'єкта вимірювання. Звичайно такі системи автоматизовані і забезпечують введення інформації в систему, автоматизацію самого процесу вимірювання, обробку і відображення результатів вимірювання для сприйняття їх користувачем.

**Вимірювальні пристосування** – це допоміжні засоби вимірювання величин. Вони необхідні для обчислення виправлень до результатів вимірювання, якщо потрібен високий степінь точності. Наприклад, термометр може бути допоміжним засобом, якщо показання приладу достовірні при строго регламентованій температурі; психрометр — якщо суворо зумовлюється вологість навколишнього середовища.

## 4. Метрологічні показники засобів вимірювання

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

Основні метрологічні показники засобів вимірювання.

**Інтервал поділок шкали** – відстань між осями сусідніх позначок шкали (рис. 1)

**Ціна поділки шкали** – значення вимірювальної величини, що відповідає одній поділці шкали.

**Діпазон вимірювань приладу в цілому** – значення вимірюваної величини, для яких нормовані допустимі похибки засобів вимірювання.

**Межа вимірювання** – найбільше і найменше значення величин, які можуть вимірюватись приладом (інструментом).

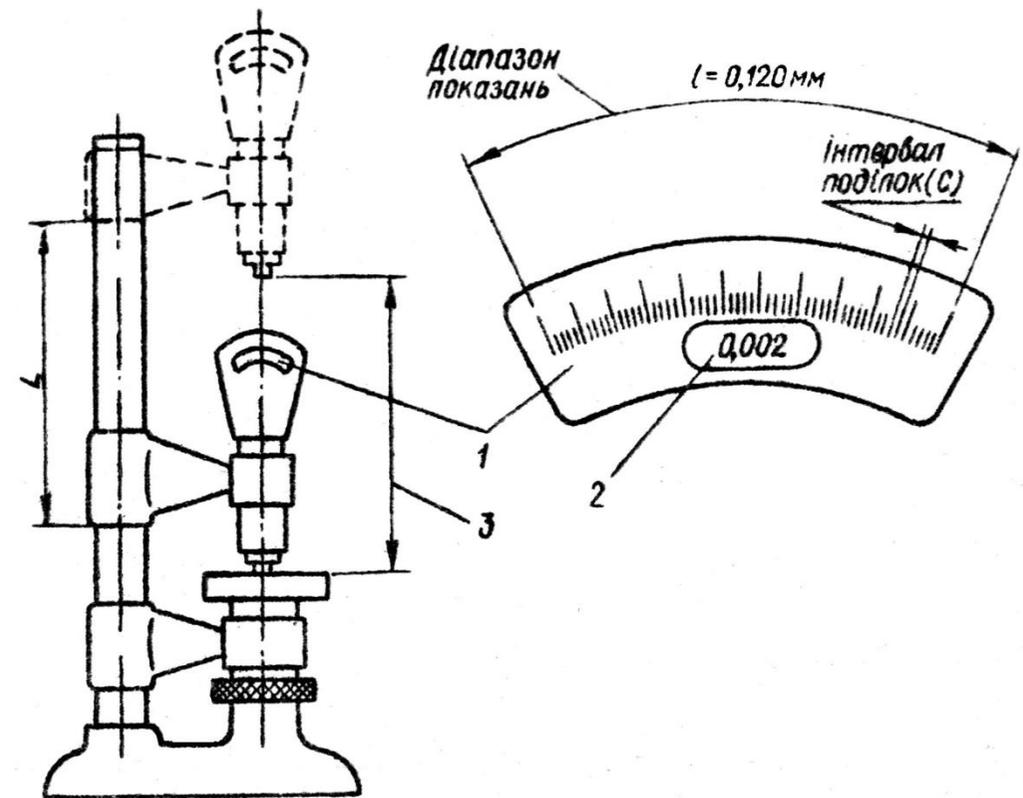


Рис. 1 - Метрологічні показники приладу:  
1 – шкала; 2 – ціна поділки ( $i$ ); 3 – межі вимірювання приладу в цілому ( $L+i$ )

**Зусилля вимірювання** – сила дії вимірювального наконечника на поверхню вимірюваної деталі в зоні контакту.

**Точність засобів вимірювання** – якість засобів вимірювання, що характеризує наближення до нуля їх похибок.

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

**Чутливість вимірювального приладу** – відношення зміни сигналу на виході вимірювального засобу до зміни вимірюваної величини.

**Поріг чутливості** – найменше переміщення вимірювального стрижня, здатне спричинити зміну в показаннях приладу.

**Поправка** – величина, яку слід алгебраїчно додавати до показання вимірювального приладу, з метою виключення його систематичних похибок.

**Передаточне відношення** – відношення лінійного або кутового переміщення покажчика (або шкали при нерухомому покажчику) до зміни вимірюваної величини, яка викликала це переміщення.

**Клас точності** – це узагальнююча характеристика засобів вимірювань, що визначається межами допустимих похибок, а також іншими властивостями, які впливають на їх точність, значення яких встановлюють стандартами на окремі види засобів вимірювань.

## 5. Засоби контролю лінійних розмірів

### 5.1. Міри довжини

**Плоскопаралельні кінцеві міри довжини** є вихідними вимірювальними засобами в машинобудуванні і ремонтному виробництві. Плитки застосовують для перевірки і встановлення вимірювальних приладів та інструмента, для розмічування точних виробів, налагодження верстатів і приладів, а також для безпосереднього вимірювання.

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.

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

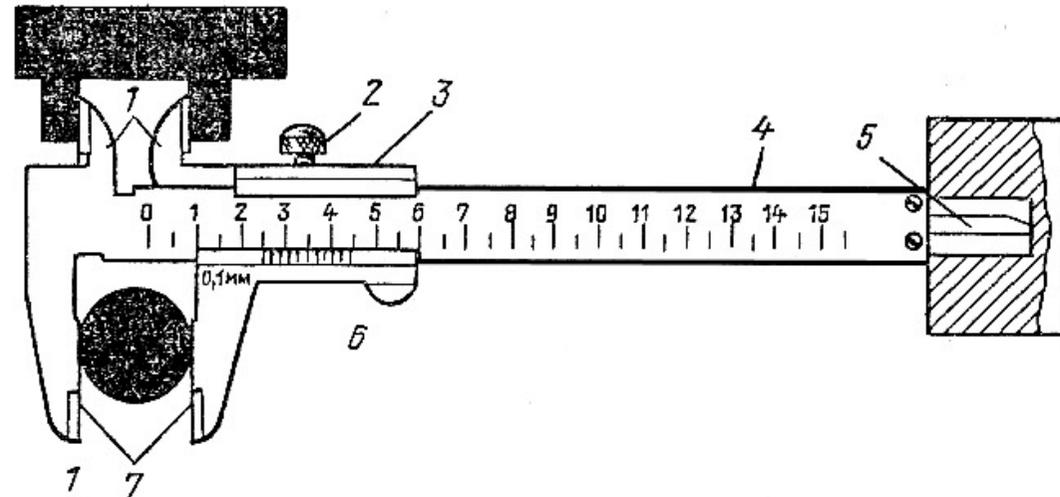


## 5.2. Штангенінструмент

**Штангенінструмент** є універсальним вимірювальним засобом, що застосовують на машинобудівних і ремонтних підприємствах. Його використовують для вимірювань розмірів невисокої точності, для розмічування деталей та інших робіт. До них належать штангенциркуль, штангенглибиномір і штангенрейсмус.

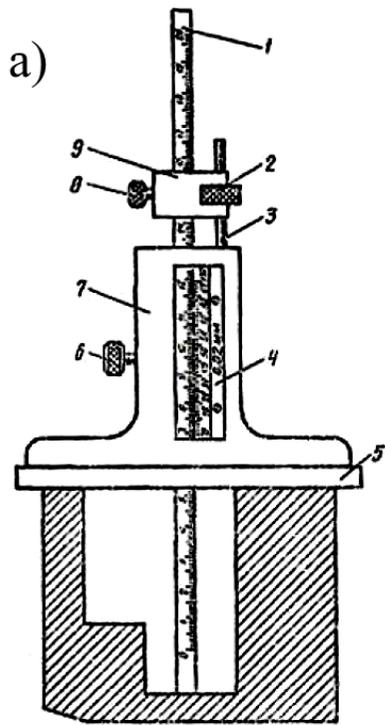
У штангенінструменті відліковий пристрій – лінійний ноніус чи додаткова шкала, яка дозволяє відрахувати дрібні частки поділок основної шкали. Ноніуси виготовляють з ціною поділки (величиною відліку за ноніусом) 0,1; 0,05; 0,02 мм.

Конструктивно штангенциркулі розрізняють за межами вимірювання, формою вимірювальних губок і рухомої рамки, а також точністю вимірювання. Губки для вимірювання внутрішніх розмірів можуть бути двох варіантів. У штангенциркулях ШЦ-1 вони мають ножову форму, внаслідок чого зразу одержуємо вимірювальний розмір, у ШЦ-II і ШЦ-III губки ступінчасті і мають відповідний сумарний розмір, який треба додавати до відрахованого розміру при вимірюванні отворів

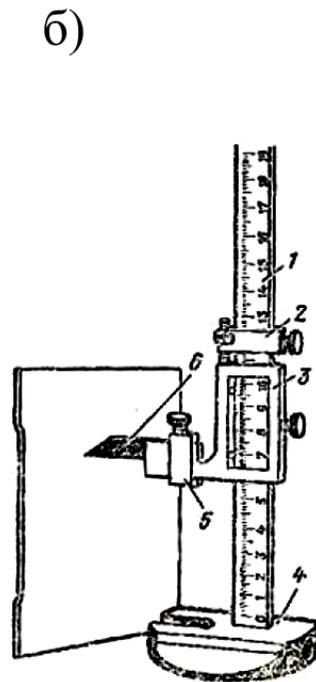


**Штангенглибиномір** – призначений для вимірювання глибин і висот деталей, перевірки заглиблення одних деталей щодо інших та ін.

**Штангенрейсмус** застосовують для розмітки і вимірювання висоти деталей на повірочній плиті, а також радіуса кривошипа колінчастих валів при дефектації в ремонтному виробництві.



*Штангенглибриномір*



*Штангенрейсмус*

Ш  
Т  
А  
Н  
Г  
Е  
Н  
Р  
Е  
Й  
С  
М  
У  
С



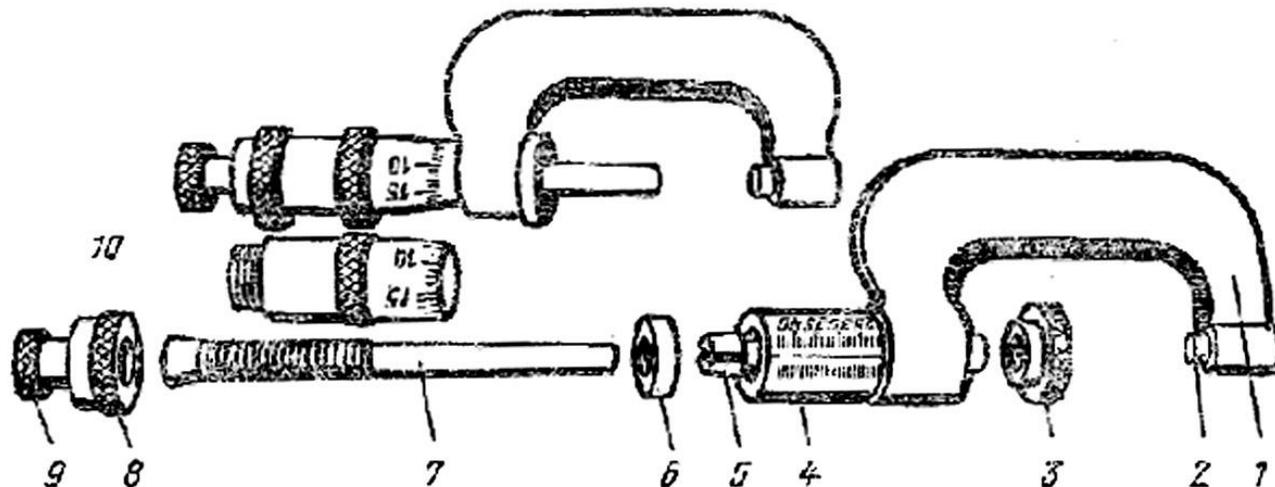
ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ

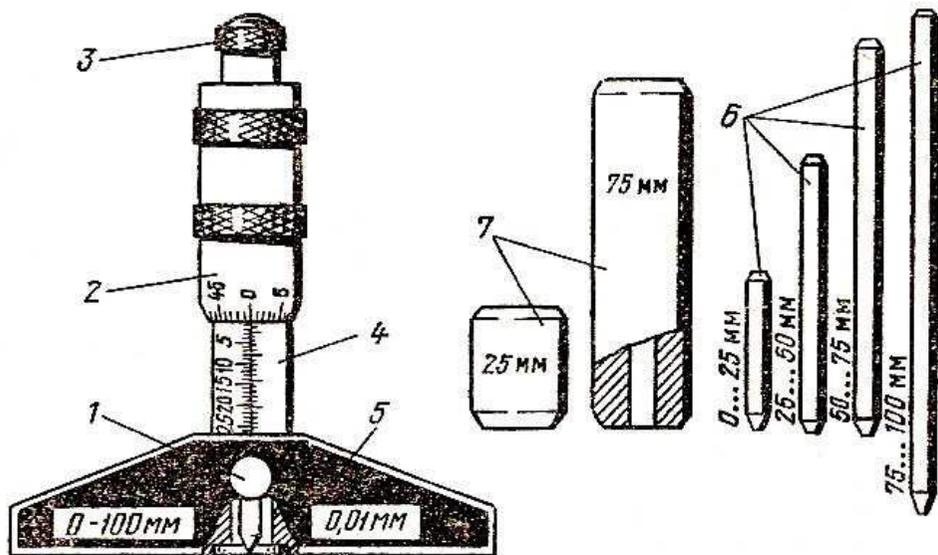


ШТАНГЕНГЛИБИНОМІР

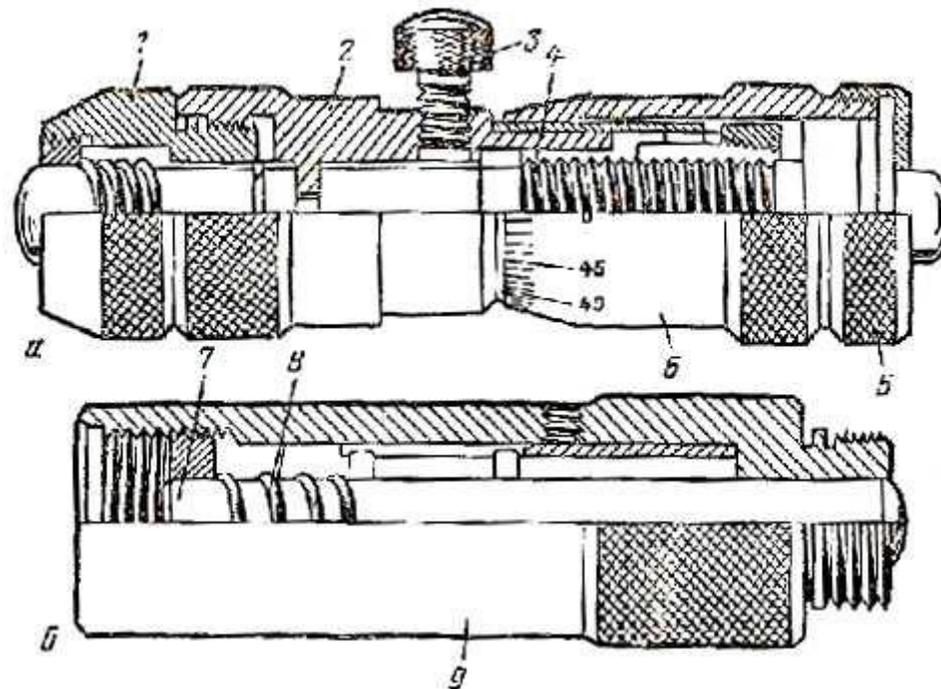
### 5.3. Мікрометричний інструмент

До мікрометричного інструмента належать мікрометр, мікрометричний нутромір, мікрометричний глибиномір. Це інструмент вищої точності, ніж штангенінструмент, застосовують його для контролю деталей двигунів та відповідальних деталей сільськогосподарських машин. Усього мікрометричного інструмента вимірювальним елементом є мікрометричний гвинт, що має різьбу з точним кроком (крок різьби  $P = 0,5$  мм). Конструктивно мікрометрична пара виконана у вигляді різьбової (мікрометричної) гайки і мікрометричного гвинта 7, з'єданого з відліковим барабаном 10 за допомогою хвостовика 8 з тріскачкою 9 (рис. 10.6). Гвинтова пара використовується для перетворення поздовжнього переміщення гвинта в кругове переміщення шкали барабана. Тріскачка забезпечує необхідне вимірювальне зусилля, яке дорівнює  $7 \pm 2$  Н, що зменшує похибки вимірювання. Вимірюваний розмір визначають за кутом повертання барабана.

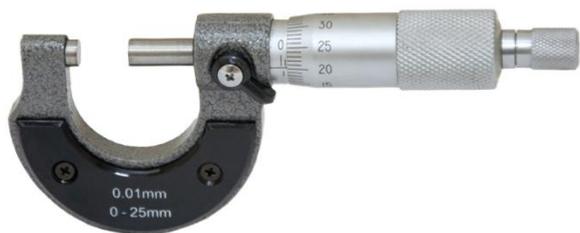




*Мікрометричний глибиномір*



*Мікрометричний нутромір*

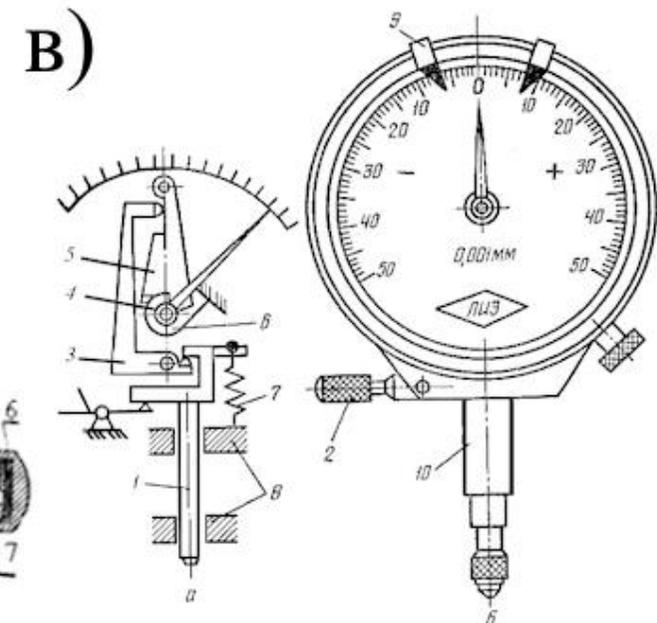
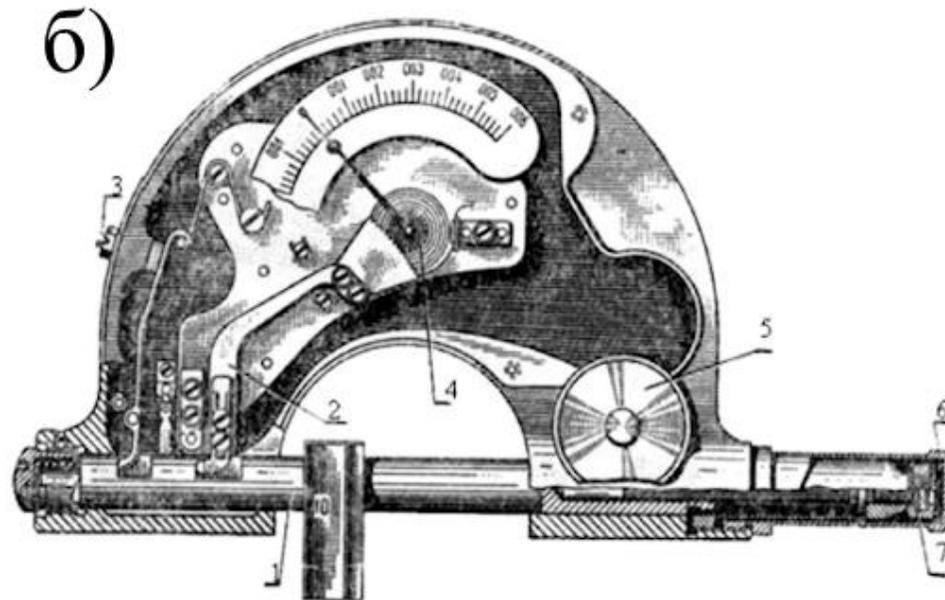
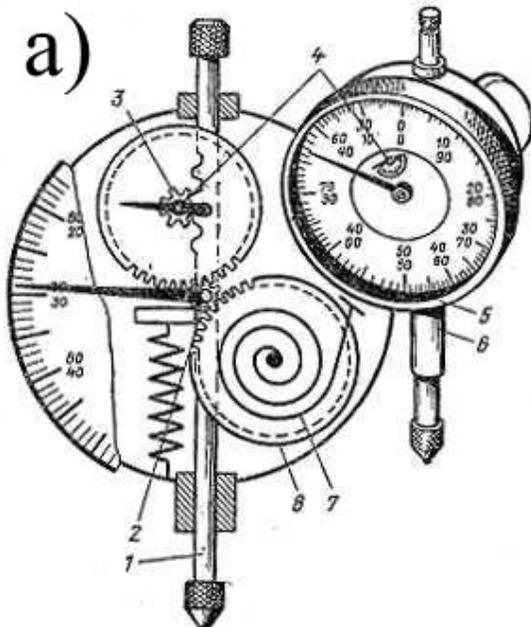


### 5.4. Важільно-механічні прилади

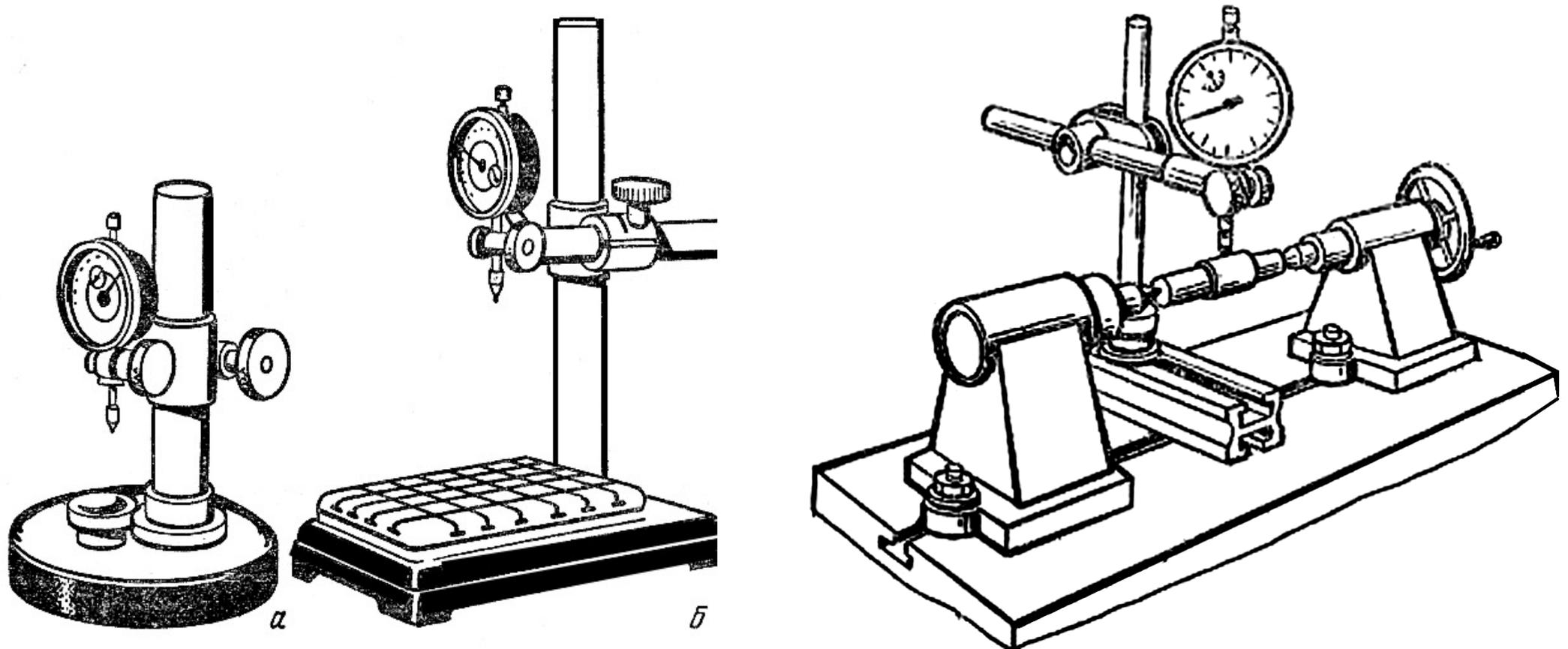
Важільно-механічні прилади працюють за принципом перетворення за допомогою зубчастих, важільно-зубчастих та інших механізмів малих переміщень вимірювального стрижня у збільшенні в сотні разів переміщення стрілки шкали.

Важільно-механічні прилади можна поділити на кілька груп:

- прилади з зубчастою передачею: індикатори годинникового типу (рис. а);
- важільно-зубчасті прилади: важільна скоба (рис. б), важільно-зубчастий індикатор (рис. в).

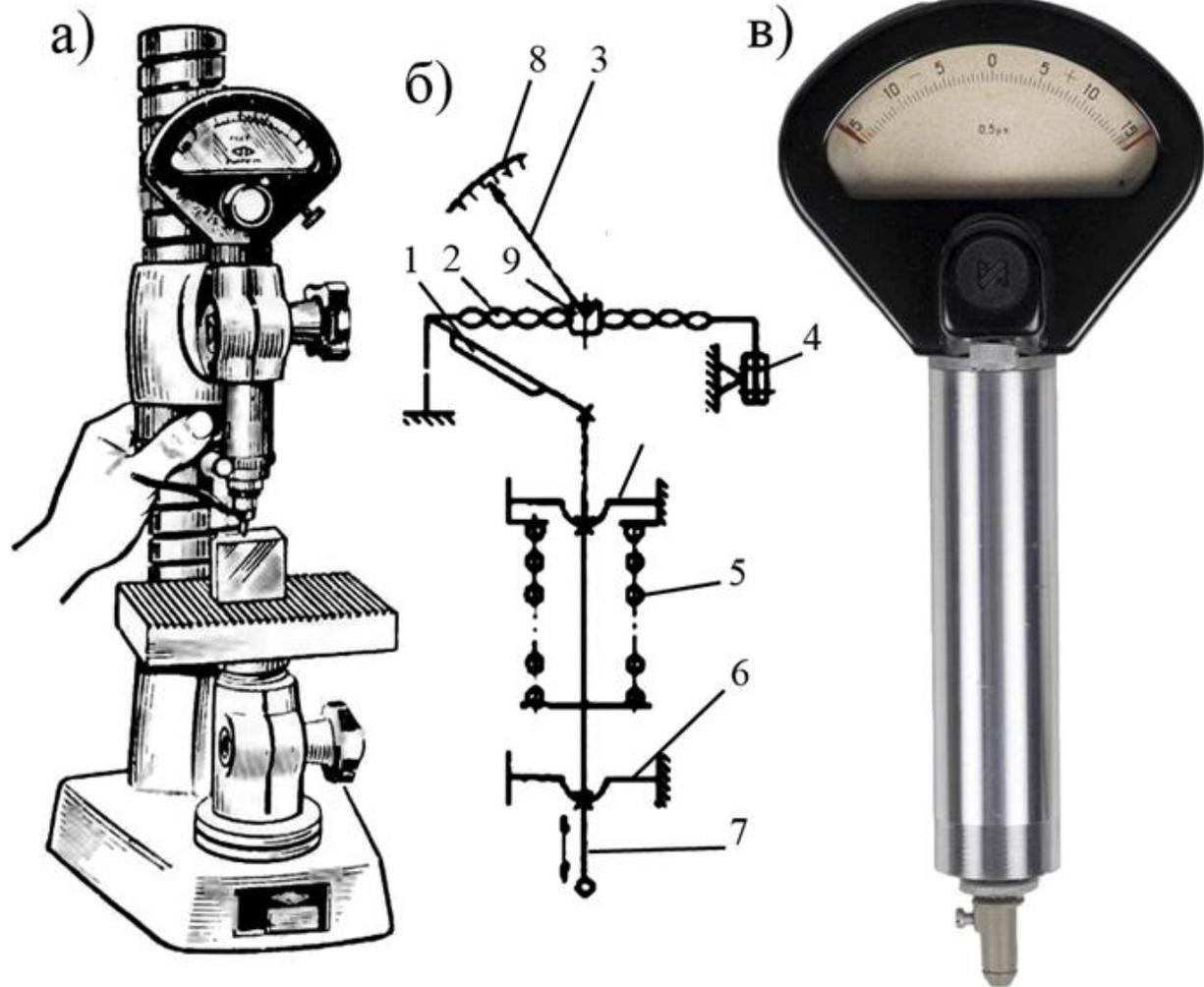


Вимірювальні головки встановлюють у стояки, штативи або у різних за конструкцією спеціальних і переналагоджуваних контрольних і вимірювальних пристосуваннях.



**Пружинні головки – мікрокатори** застосовують при особливо точних вимірюваннях лінійних розмірів відносним методом, а також відхилень форми деталей.

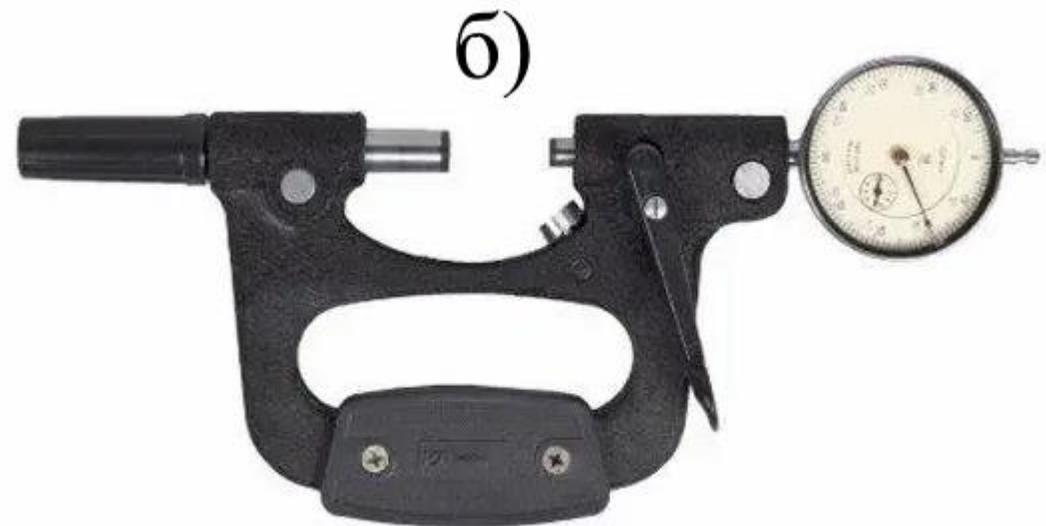
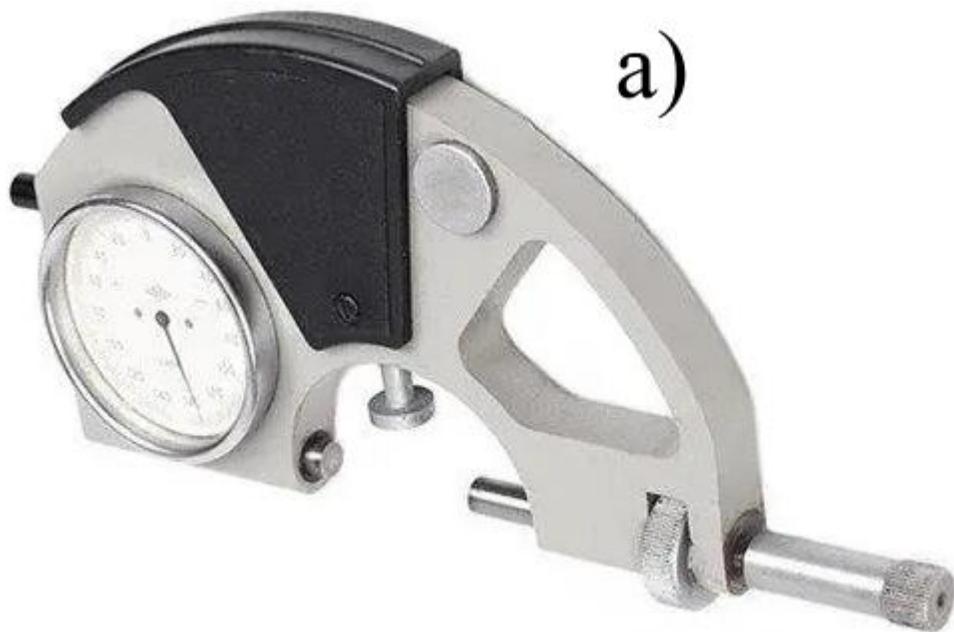
Всі рухливі частини цього приладу скріплені між собою, зазори в з'єднаннях відсутні, тому він має високою чутливість. Мікрокатори випускають з ціною поділки 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм та з межами вимірювання  $\pm 30$  поділок шкали. Їх використовують разом з універсальними стояками, а також як відлікові пристрої в універсальних, спеціальних, складальних багатомірних і переналагоджувальних контрольно-вимірювальних приладах. Механізм мікрокатора заключений в корпус з уніфікованими габаритними розмірами та приєднувальним розміром  $\text{Ø}28$  мм для встановлення в стійках.



### 5.5. Скоби з відліковим пристроєм

Ці скоби призначені для точних вимірювань зовнішніх розмірів деталей відносним методом. Виготовляють їх двох типів: СВ – важільні, з вмонтованим в корпус відліковим пристроєм; СІ – індикаторні, оснащені вимірювальними головками.

Важільні скоби (рис. а) застосовують для вимірювання деталей з допуском за 7-м квалітетом, а індикаторні скоби (рис. б) з верхньою межею вимірювання до 100 мм – деталей з допуском за 9-м квалітетом і грубіше.



Скоби встановлюють по блоку кінцевих мір, розмір якого дорівнює номінальному розміру вимірювальної деталі або ж приблизно одному із граничних розмірів деталі.

## 5.6. Індикаторні глибиноміри і нутроміри

Індикаторні глибиноміри (рис. а) призначені для вимірювання відносним методом глибин пазів, отворів, висот, уступів, а нутроміри (рис. б) – внутрішніх розмірів деталей.



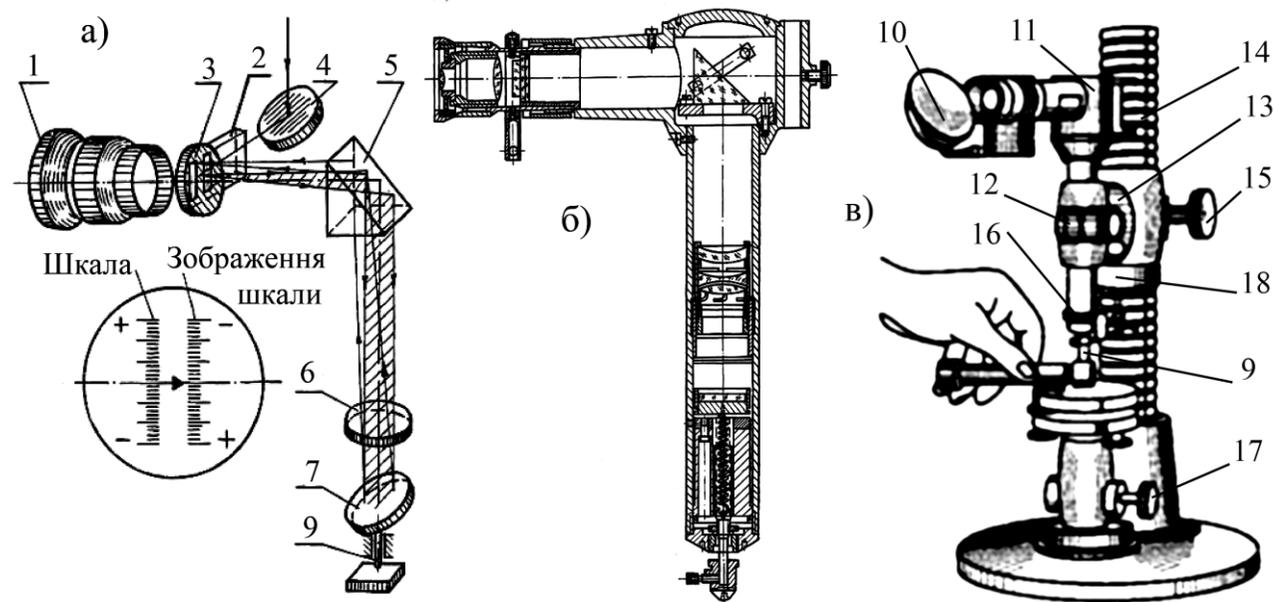
## 5.7. Оптико-механічні і оптичні прилади

До оптико-механічних належать важільно-оптичні прилади (оптиметр, ультраоптиметр та ін.), вимірювальні машини, проєкційні прилади, вимірювальні мікроскопи (інструментальний та універсальний) тощо.

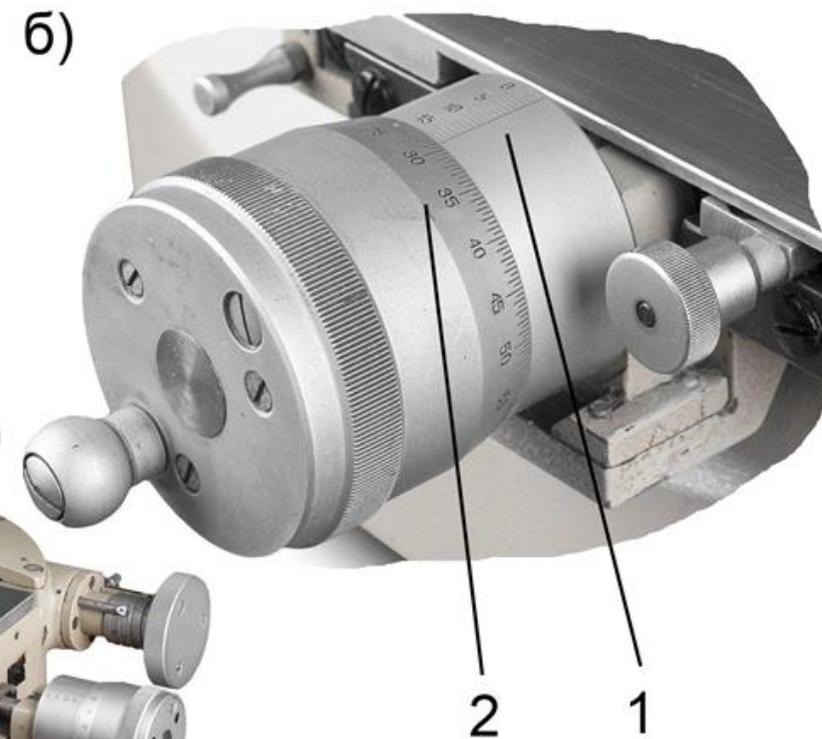
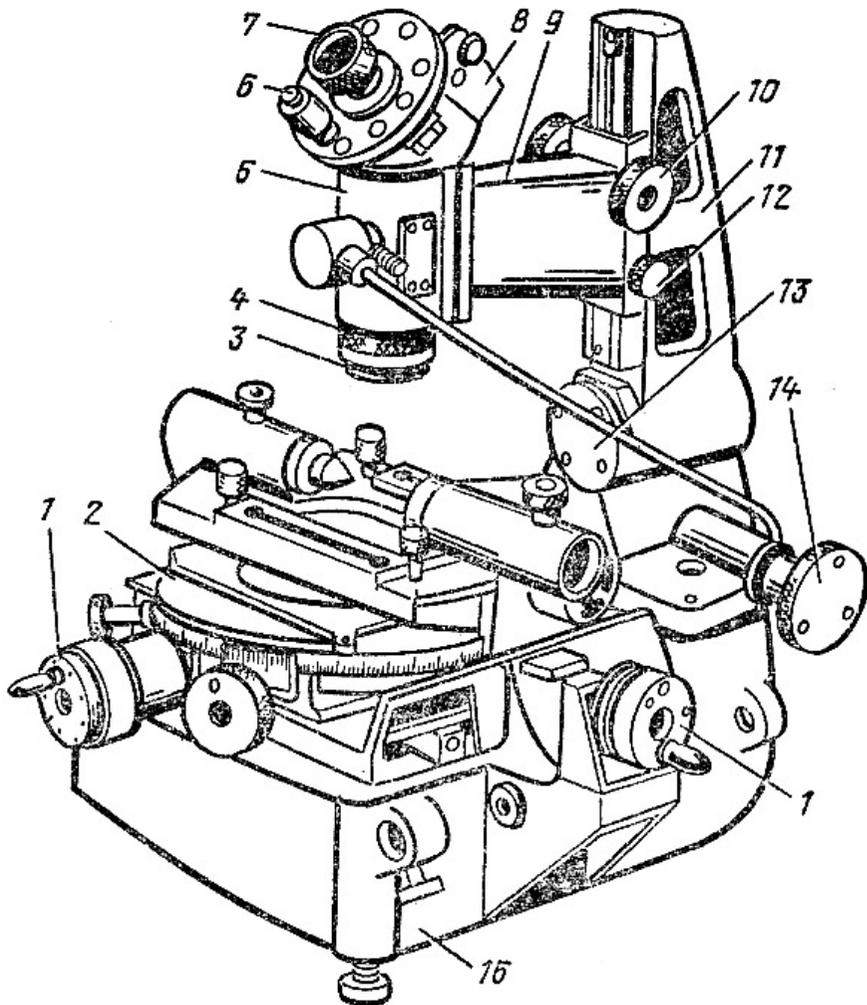
Залежно від положення осі вимірювання вони можуть бути вертикальними (ОВ) чи горизонтальними (ОГ), від способу відліку показань – екранними (ОВЕ, ОГЕ) чи окулярними (ОВО, ОГО).

Оптико-механічні та оптичні прилади забезпечують вищу точність вимірювання, ніж важільно-механічні прилади. У зв'язку з цим ними користуються у вимірювальних лабораторіях для контролю і вимірювання точних деталей, шаблонів, калібрів, контр калібрів і кінцевих мір.

**Оптиметр** — найбільш розповсюджений оптико-механічний прилад. Ціна поділки оптиметра 0,001 мм, межа показань приладу  $\pm 100$  поділок, або  $\pm 0,1$  мм.



**Інструментальні мікроскопи** призначені для вимірювання кутів і лінійних розмірів різбових калібрів, мітчиків, різбових фрез, шаблонів, фасонних різців та ін. Малий інструментальний мікроскоп (ММІ), улаштований так же, як і великий інструментальний мікроскоп (ВМІ), має меншу точність і меншу межу вимірювань.



### Граничні похибки найбільш поширених методів вимірювання довжини

Прилади та інструменти	Граничні похибки, мкм при інтервалах розмірів		
	10...50 мм	50...80 мм	80...120 мм
Оптиметри вертикальні ІКВ та горизонтальні ІКГ	0,5; 0,6	0,6; 0,8	0,8; 1,0
Вимірювальні машини при вимірюванні зовнішніх розмірів	1,0	1,3	1,6
Вимірювальні машини при вимірюванні внутрішніх розмірів	1,4	1,8	2,0
Пружинні головки з ціною поділки, мкм: 0,001 0,002 0,005	0,7; 0,8, 1,0; 1,5 1,2; 1,5; 1,8 2,2; 2,5	0,8; 1,0; 1,4; 2,5 1,4; 1,8; 2,5 2,5; 3,0	0,9; 1,2; 1,8; 2,6 1,5; 2,0; 3,0 2,5; 3,5
Індикатори з ціною поділки 0,01 мм при роботі в межах одного повороту стрілки: підвищеної точності (нормальної точності)	10 (15)	10 (15)	11 (15)
Індикаторний прилад для внутрішніх вимірювань з індикатором нормальної точності при роботі в межах одного повороту стрілки	16	17	17
Мікрометр класу точності: 0 / 1	5,5 (8)	6 (9)	7 (10)
Нутромір мікрометричний	10	18	-
Штангенциркуль з відліком за ноніусом 0,05 мм при вимірюванні розмірів: внутрішніх (зовнішніх)	80 (100)	90 (130)	100 (130)
Штангенциркуль з відліком за ноніусом 0,05 мм при вимірюванні розмірів: внутрішніх (зовнішніх)	150 (200)	160 (230)	170 (260)

## Література

1. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання (2-е видання доповнене і перероблене): Підручник / За ред. Сірого І.С. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 353 с.
2. Желєзна А.М., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2004. – 796 с.
3. ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Ч. 1. Основи допусків, відхилень та посадок.
4. ДСТУ ISO 80000-1:2016 Величини та одиниці. Частина 1. Загальні положення.