

Міністерство освіти і науки України  
Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича  
Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

**ТЕХНІКА ЛІНІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ**  
метрологія та поліграфія

*Навчальний посібник до лабораторного практикуму*



Чернівці  
2021

УДК 681.2.08(076.5)  
ББК 30.10я7  
Т 546

*Рекомендовано Вченою радою  
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича*

Т 546      **Техніка лінійних вимірювань: метрологія та поліграфія**  
Навчальний посібник до лабораторного практикуму  
Укл.: О.Г. Ушенко, В.Г. Житарюк, Д.І. Іванський  
– Чернівці: Рута, 2021. 58 с.

У посібнику викладені основи лінійних вимірювань та метрологічне забезпечення єдності таких вимірювань. Понятійний матеріал включає вивчення будови конструкцій базової інструментальної техніки – *штанген* - та *мікрометричних* інструментів. *Метрологічна єдність* лінійних вимірювань забезпечується використанням «*Мір довжини кінцевих*» як робочих еталонів лінійних мір довжини. Третя частина посібника присвячена найбільш широкоживаним механічним та оптичним приладам лінійних вимірювань., таких як *індикатор* годинникового типу, *мінікатор*, *оптикатор* та *оптиметр*. Застосування останніх неможливе без ознайомлення з технікою забезпечення вимірювальних процедур – інструментальними стояками та їх практичним використанням. Розглядається також *інструментальна скоба* як мобільний вимірювальний засіб підвищеної точності.

Питання практичного застосування та користування названого, правила експлуатації засвоюються при виконанні трьох лабораторних робіт, зміст яких викладений у посібнику.

Посібник викладений мовою технічних стандартів, використовує терміни та визначення, рекомендовані Міжнародною організацією по стандартизації (ISO), державними стандартами України та стандартами СРСР, які продовжують діяти в Україні. Англійські еквіваленти наведені лише при їх наявності в наших стандартах.

Для студентів інженерних спеціальностей, які навчаються за напрямками  
«Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»  
«Видавництво та поліграфія»

УДК 681.2.08(076.5)  
ББК 30. 10я7

## Зміст

<b>Вступ</b> .....	5
<b>Тема 1. Інструменти лінійних вимірювань</b>	
1.1. Терміни та визначення.....	6
1.2. Конструкції штанген інструментів.....	7
1.2.1. Загальна характеристика.....	7
1.2.2. Вимірювальна система штангенінструментів.....	8
1.2.3. . Конструкції штангенциркулів.....	10
1.2.4. Штангенглибиномір.....	11
1.2.5. Штангенрейсмус.....	12
1.3. Правила експлуатації штангенциркулів та вимірювальні процедури	
1.3.1. Правила експлуатації.....	13
1.3.2. Вимірювання штангенциркулем.....	14
1.4. Мікрометричні інструменти	
1.4.1 . Загальна характеристика.....	17
1.4.2 .Конструкція мікрометричних інструментів.....	17
1.4.3 .Вимірювана система мікрометра.....	20
1.4.4 .Правила експлуатації мікрометричних інструментів.....	21
1.4.5. Загальна характеристика інших мікрометричних інструментів.....	22
<b>Лабораторна робота №1</b>	
<b>Вивчення інструментів лінійних вимірювань</b>	
1. Мета роботи, завдання.....	24
2. Методика виконання.....	24
3. Контрольні запитання.....	25
<b>Тема 2. Метрологічне забезпечення єдності лінійних вимірів</b>	
2.1. Терміни та визначення.....	25
2.2. Загальна інформація про міри.....	26
2.3. Розміри, точність, атестація мір.....	28
2.3.1. Розміри мір.....	28
2.3.2. Точність виготовлення та атестація мір.....	29

## **Лабораторна робота №2**

### **Метрологічне забезпечення єдності лінійних вимірювань**

1. Мета роботи, завдання.....32
2. Методика виконання .....32
3. Контрольні запитання.....38

## **Тема 3. Прилади лінійних вимірювань**

- 3.1. Механічні прилади лінійних вимірювань.....41
  - 3.1.1. Загальні відомості.....41
  - 3.1.2. Індикатори годинникового типу (ІГ).....44
  - 3.1.3. Мікрокатор.....47
- 3.2. Скоба індикаторна.....50
- 3.3. Оптичні прилади точних лінійних вимірювань
  - 3.3.1. Оптикатор.....51
  - 3.2. Оптиметр.....52

## **Лабораторна робота № 3**

### **Вивчення конструкцій, правил експлуатації приладів точних лінійних вимірювань та допоміжної техніки**

1. Мета роботи, завдання.....54
2. Контрольні запитання.....54

Додаток А. Похибки вимірювань.....56

**Список літератури.....57**

## ВСТУП

Даний посібник призначений для студентів інженерних спеціальностей молодших курсів, продовжує вводити студена у світ технічних дисциплін, формувати стиль технічної мови та розуміння того, що діяльність інженера регламентована загальноприйнятими стандартами та іншими нормативно-технічними документами. Основний зміст вимірювань геометрії об'єктів – це встановлення геометричних розмірів зовнішніх контурів об'єктів, які описуються лінійними та кутовими координатами. Відповідно, такі вимірювання складають дві групи вимірювань – лінійні та кутові. В літературі інколи ототожнюють поняття «технічні вимірювання» та «вимірювання зовнішніх контурів об'єктів», але поняття «технічні вимірювання» значно ширші. Крім вимірювань геометричних розмірів, до технічних вимірювань також відносять: 1) вимірювання стану мікрогеометрії поверхонь, яка регламентується поняттям “шорсткість поверхонь”; 2) вимірювання форми та розташування поверхонь окремих деталей; 3) вимірювання твердості поверхонь та інше, що стосується технічних питань.

Структура посібника містить три частини.

*У першій частині* вивчаються найбільш поширені інструменти для лінійних вимірювань: штангенінструменти та мікрометричні інструменти.

Мета роботи – дати студенту повну інформацію про названі інструменти, правила їх експлуатації та методики проведення вимірювань. Практичне освоєння інструментів складає зміст лабораторної роботи № 1.

*Частина друга* висвітлює питання метрологічного забезпечення єдності лінійних вимірювань; основу такого забезпечення складає використання *мір довжини кінцевих* як еталонів мір довжини. Вивчаються правила експлуатації та застосування мір та супутніх пристосувань.

*Третя частина* – це вивчення процедури перевірки засобу вимірювальної техніки на прикладі штангенциркуля.

*Четверта частина* посібника присвячена допоміжній техніці забезпечення вимірювальних процедур – інструментальним стоякам та їх практичному застосуванню.

Інструкції до виконання лабораторних робіт мають вигляд стандартних інструкцій на експлуатацію приладів, методів та методик, що мають застосування на підприємствах та установах.

Виконання робіт студенти приступають після складання допуску.

Підставами допуску є: 1) наявність попередньо оформленої заготовки протоколу виконання роботи, яка містить: *а)* назву, мету, завдання до роботи, *б)* конспект термінів та визначень згідно теми; 2) знання зазначених термінів та визначень та складу робіт згідно завдання до роботи.

В ході виконання заповнюється протокол згідно завдання до роботи, за результатами виконання студент здійснює захист роботи.

# Тема 1. Інструменти лінійних вимірювань

## 1.1. Терміни та визначення

### ФІЗИЧНА ВЕЛИЧИНА (ФВ)

Якісно означена фізична властивість об'єктів (фізичних тіл, їх станів, процесів), яка може мати певну розмірність.

*Приклади ФВ:* довжина, маса, швидкість, прискорення, сила електричного струму, магнітна індукція, сила світла тощо.

### ВИМІРЮВАННЯ - MEASURING

Знаходження значень фізичних величин дослідницьким шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів, які зберігають одиницю ФВ та дають змогу порівнювати з нею вимірювану ФВ; ДСТУ 2681 - 94

### ВИМІРЮВАНА БАЗА – MEASURING BASE (ВБ)

База, що використовується для визначення відносного положення заготовки або виробу та засобів вимірювання; ГОСТ 21495 - 76

### ПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ (ПВ)

Безпосереднє порівняння ФВ з її одиницею (мірою).

### ОПОСЕРЕДКОВАНІ ВИМІРЮВАННЯ – КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ (ОВ)

Значення вимірюваної величини знаходять за допомогою її залежності від фізичних величин, які отримують прямими вимірюваннями. *ОВ* застосовують тоді, коли пряме вимірювання ФВ неможливе чи недоцільне.

### АБСОЛЮТНІ ВИМІРЮВАННЯ (АВ)

Вимірювання, для здійснення яких використовують прямі вимірювання однієї чи декількох основних ФВ та фізичну константу.

*Приклад:* вимірювання лінійних розмірів за допомогою лінійки, штангенциркуля, мікрометра.

### ВІДНОСНІ ВИМІРЮВАННЯ (ВВ)

Здійснюють на підставі відношень вимірюваної ФВ до однорідної з нею ФВ, що прийнята за умовну одиницю ФВ. Умовна одиниця ФВ встановлюється за допомогою стандартної одиниці однорідної ФВ.

Різницю між вимірюваною ФВ та умовною одиницею вимірюють за допомогою стандартних приладів для малих розмірів, а результат вимірювання розраховують як суму умовної одиниці та показів вимірювального приладу.

*Приклад:* для вимірювання значних лінійних розмірів використовують проміжні предмети з наперед встановленими (атестованими) лінійними розмірами у вигляді лінійок, брусків, в тому числі кінцевих мір довжини.

### ІНСТРУМЕНТ (лат. instrumentum – знаряддя для праці) – TOOL

Технологічна оснастка, що призначена для дії на предмет праці з метою зміни його стану.

*Примітка.* Стан предмета праці визначається за допомогою міри і (або) вимірювального приладу.

## ВИМІРЮВАЛЬНІ ЗАСОБИ

Технічні пристрої, що призначені для безпосереднього порівняння вимірюваної величини з одиницею вимірювання.

Під вимірювальним інструментом розуміють переважно прості технічні засоби, до яких відносять штангенінструменти.

Під вимірювальними приладами розуміють складні технічні системи, в яких для зміни масштабу перетворення лінійних переміщень використовуються механізми або фізичні процеси перетворення, наприклад п'єзокераміка.

## ПРИЛАД

Засіб вимірюваної техніки.

## МІРА

Тіла, речовини та пристрої, призначені для відтворення конкретних одиниць вимірювання, а також об'єкти, які кратні або дольні їм.

*Прикладом* мір лінійного розміру є вироби, які називають кінцевими мірами довжини.

## ШКАЛА

Впорядкована сукупність міток (штрих, крапка), розміщених уздовж деякої лінії, які зображають ряд послідовних чисел і відповідають значенням вимірюваної величини.

## КАЛІБРИ

Безшкальні вимірювальні інструменти, тобто однозначні числові міри, які використовуються для контролю розміру або форми елемента деталі.

## ЕЛЕМЕНТ ДЕТАЛІ

Геометрично однорідна частина поверхні деталі. Елемент може бути і віртуальним; наприклад вісь, площина симетрії тощо.

### **1.1. Конструкції штангенінструментів**

#### **1.2.1. Загальна характеристика**

Штангенінструменти є універсальні інструменти для проведення лінійних вимірювань та ручної розмітки координат різноманітних елементів окремої деталі, таких як отвір, канавка, паз, тощо. Назва походить від слова “штанга” (нім.) – жердина (синонім – стояк). Точність зняття показів при вимірюваннях забезпечується точністю виготовлення окремих деталей і складає для різних конструкцій 0,1 або 0,05 мм.

До штангенінструментів належать:

- штангенциркулі, які призначені для вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів деталей та глибини отворів (рис. 1.3, 1.4, 1.5);
- штангенглибиноміри, що використовуються для точних вимірювань як глибини отворів, так і перепадів елементів деталі з плоскими поверхнями (рис. 1.14);

- штангенрейсмуси, спеціальне використання яких – це проведення ручної розмітки координат різноманітних елементів окремої деталі, таких як отвір, канавка, паз тощо (рис. 1.16).

З точки зору технічної механіки базовою деталлю цих інструментів є штанга (стояк) – тонка рейка прямокутного перетину з нанесеною гравіюванням міліметровою шкалою. Складовою частиною штанги є опорні вимірювальні губки, які одночасно із штангою є відносно нерухомою деталлю. Рухома частина – рамка або каретка, положення якої можна змінювати від руки в залежності від розміру, що вимірюється. До складу цієї деталі належать додаткова шкала – шкала ноніуса та рухомі губки. Кінематичне замикання рухомої рамки та нерухомого стояка, що забезпечує безлюфтове взаємне переміщення, здійснюється листовою пружиною, яка розміщена у верхній частині каретки. У деяких інструментах встановлена додаткова рухома рамка мікрометричної подачі руху, фіксація якої відповідним затискачем забезпечує точне встановлення наперед заданого розміру за допомогою наявного у вказаних інструментах гвинтового механізму.

### 1.2.2. Вимірювальна система штангенінструментів

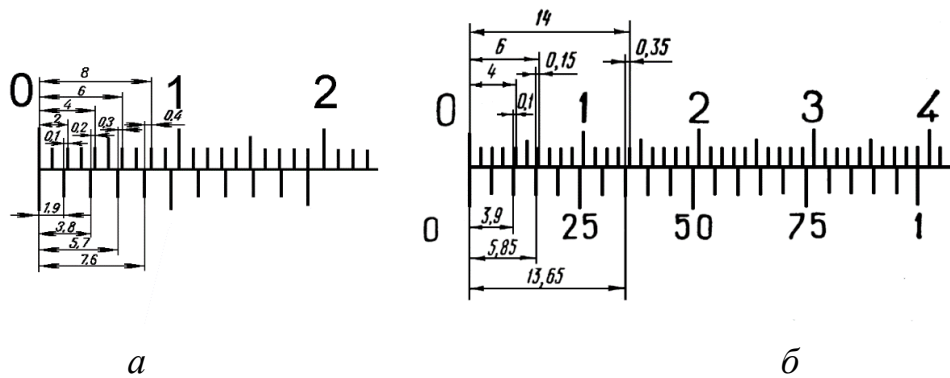
Вимірювана система штангенінструментів зображена на рис.1.1 і складається із двох шкал. Основна шкала – міліметрова, є сукупність верхніх проділок, нанесених гравіюванням рисок з кроком один міліметр на штанзі. Поділki найбільшої висоти цифровані послідовністю 0, 1, 2, 3, ..., що означає 10, 20, 30, ... (і далі) міліметрів. Допоміжна шкала штангенінструментів має назву лінійного ноніуса, розміщена на рухомій рамці інструментів і зображена на нижній половині рисунків 1.1. Система поділок шкали ноніуса дозволяє робити відлік дробової частки інтервалу поділок основної шкали штангенінструмента. Геометричні параметри шкали ноніуса з ціною поділки  $0,1$  мм подані на рис. 1.1 а, а з ціною  $0,05$  мм – на рис. 1.1 б.

Розглянемо принципи побудови шкали ноніуса на прикладі рис.1.1 а.

Нехай:  $c$  – довжина поділки основної шкали, яка в метричній системі мір для стандартних інструментів дорівнює  $1$  мм;  $i$  – ціна поділки ноніуса;  $\gamma$  – модуль ноніуса, це заокруглене до цілого число поділок основної шкали, яке відповідає одній проділці шкали ноніуса;  $n$  – число поділок шкали ноніуса;  $b$  – довжина поділки шкали ноніуса;  $l$  – довжина шкали ноніуса.

Отже, при модулі  $\gamma=2$  довжина поділки ноніуса менша за дві поділки основної шкали на величину  $i$ , яку називають величиною відліку за ноніусом.





**Рис.1.1. Вимірювальні шкали штангенінструментів:**

Рис.1.1 *а* – ціна поділки інструмента складає 0,1 мм, на рис 1.1 *б* ціна поділки - 0,05 мм. Верхня шкала є основною і нанесена на штанзі, по якій зчитуються результати замірів цілого числа міліметрів; по нижній шкалі (шкала ноніуса), яка нанесена на рухомій рамці (каретці), зчитуються долі міліметра

В цьому разі розрахунки шкали ноніуса зведуться до таких формул:

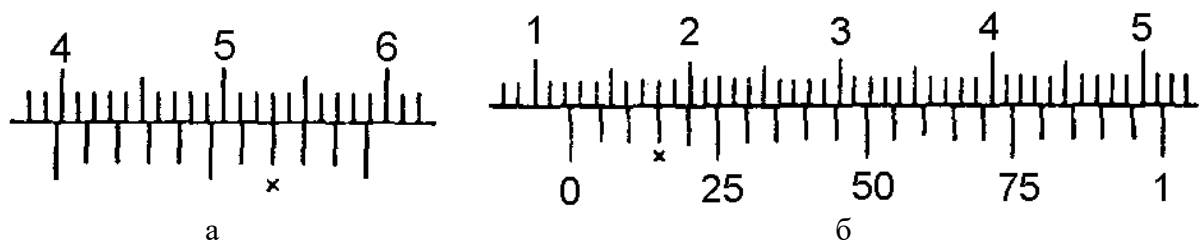
$$n = \frac{c}{i}; \quad b = \gamma c - i; \quad l = nb = n(\gamma c - i). \quad (1)$$

Наприклад, при  $\gamma=2$ ,  $i = 0,05$  мм,  $c = 1$  мм, розраховане число поділок  $n = 1/0,05 = 20$ , довжина поділки ноніуса  $b = 2 \cdot 1 - 0,05 = 1,95$  мм, а довжина шкали складатиме:  $l = 20 \cdot 1,95 = 39$  мм, що і демонструється на рис. 1 *б*.

При нульовому положенні інструмента нульовий штрих основної шкали і нульовий штрих ноніуса збігаються. При цьому останній штрих шкали ноніуса (оцифровка *1*) також збігатиметься зі штрихом основної шкали, тобто показом 39 мм; проміжні штрихи не суміщаються з будь-яким із штрихів основної шкали.

При вимірюванні шкала ноніуса зміщується відносно основної шкали і за положенням нульового штриха ноніуса визначають величину зміщення, яка дорівнює вимірюваному розміру в міліметрах. Наступні за нульовим штрихи ноніуса будуть займати проміжні положення між штрихами основної шкали, окрім одного, який суміститься із одним із штрихів основної шкали. Це суміщення означає, що відстань нульового штриха шкали ноніуса, за яким проводиться відлік цілого числа поділок, до суміщення з основним, дорівнює  $ki$ , де  $k$  - кількість поділок ноніуса, які передують тому штриху, що сумістився;  $i$  - величина відліку за ноніусом. Таким чином, відлік вимірюваної величини  $A$  складається із відліку цілого числа поділок  $N$  за основною шкалою і відліку дробової частини за шкалою ноніуса, тобто  $A = N + ki$ .

Приклади зчитування результатів замірів показані на рис.1.2.



**Рис. 1.2. Приклади зчитування результатів замірів штангенінструментами:**

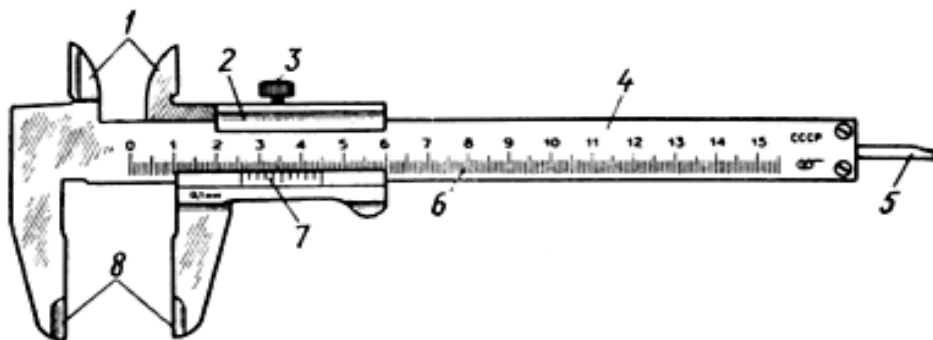
Рис. 1.2 а: ціна поділки шкали ноніуса 0,1 мм, приклад відліку: 39 мм + 7·0,1 = 39,7 мм;  
 Рис. 1.2 б: ціна поділки шкали ноніуса 0,05 мм, приклад відліку: 12 мм + 3·0,05 мм = 12,15 мм

### 1.2.3. Конструкції штангенциркулів

Штангенциркуль – найбільш поширений інструмент лінійних вимірювань. Його конструкція досить проста, а точність вимірювання забезпечується точністю виготовлення комплектуючих деталей.

Набули поширення три типи штангенциркулів: ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III.

На рис.1.3 показаний найбільш універсальний та поширений інструмент лінійних вимірювань у техніці – штангенциркуль ШЦ-I, оскільки його



**Рис.1.3. Штангенциркуль ШЦ- I:**

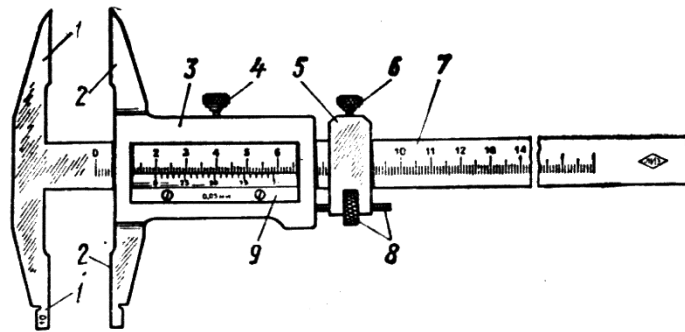
1 – губки для внутрішніх вимірювань; 2 – рухома рамка (каретка) із затискачем 3 та шкалою ноніуса 7; 4 – штанга з нанесеною основною шкалою 6; 5 – висувний стрижень для вимірювань глибин; 8 – губки для зовнішніх вимірювань

конструкція містить глибиномір у вигляді стрижня 5 прямокутного перетину, сполученого із рухомою рамкою. Разом з цим спеціальна форма та конструкція губок 1 внутрішніх вимірювань дозволяє проводити вимірювання досить малих внутрішніх розмірів, що не можна здійснити іншими типами штангенциркулів. Точність зняття відліків штангенциркулем такої конструкції вітчизняного виробництва складає 0,1 мм, а деяких зарубіжних – 0,05 мм.

ШЦ-II (рис.1.4) - інструмент, верхніми загостреними губками (1, 2) якого можна проводити як вимірювання, так і розмітку координат отворів та інших елементів деталей. Його конструкція включає систему (5, 6, 8) мікрометричної подачі руху каретки 3. Промисловість випускає ряд типорозмірів штангенциркулів цієї конструкції, кожен із яких які відрізняються лише габаритами в бік зрос-

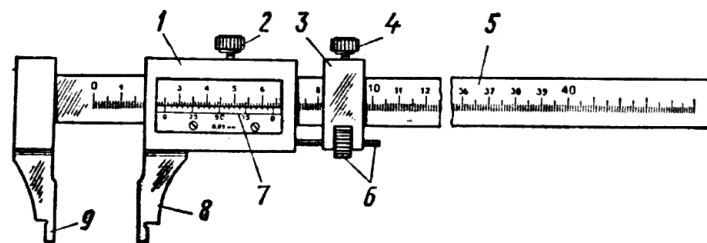
тання інтервалу вимірювальних розмірів. Точність зняття відліків складає 0,1 або 0,05 мм.

На рис. 1.5 показаний ШЦ-III. Ця конструкція не має системи верхніх губок, надійно виконана, точність зняття відліків може складати 0,05 мм; виготовляються ряди типорозмірів зі зростаючими межами вимірювання лінійних розмірів; на практиці широкої популярності не здобув.



**Рис.1.4. Штангенциркуль ШЦ- II:**

1 – нерухомі опорні губки зі штангою 7; 2 – рухомі губки для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів та розмітки; 3 – рухома рамка (каретка) із гвинтом 4 фіксації руху та шкалою ноніуса 9; 5 – рамка мікрометричного переміщення каретки, 8 – гвинтова пара цього переміщення, 6 – затискач рамки

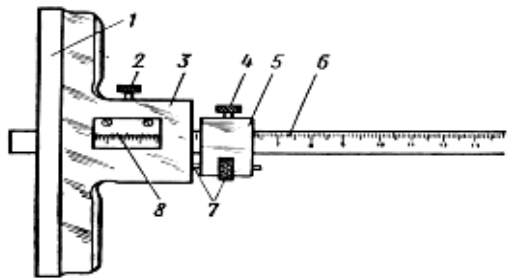


**Рис.1.5. Штангенциркуль ШЦ-III:**

1 – рухома рамка (каретка) із затискачем 2, шкалою ноніуса 7 та рухомою губкою 8; 3 – рамка мікрометричної подачі із затискачем 4 та гвинтовою парою переміщення 6; 5 – штанга з нерухомою губкою 9

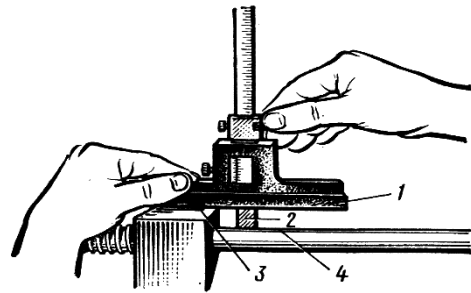
#### 1.2.4. Штангенглибиномір

Конструкція глибиноміра подана на рис.1.6. Бачимо, що бут базовим елементом, тобто стояком, є основа, а переміщенню підлягає штанга. Решта деталей та ж сама, що і в штангенциркулях. Перед початком вимірювань також необхідно вивіряти нуль інструмента. Для цього встановлюють штангенглибиномір на площину вивірки і спостерігати нульові покази шкал.



**Рис.1.6. Конструкція Штангенглибиноміра:**

1 – основа, 2 – затискач рамки, 3 – каретка, 4 – затискач рамки мікрометричної подачі, 5 – рамка мікрометричної подачі; 6 – штанга, 7 – гвинтова пара мікрометричної подачі, 8 – шкала ноніуса



**Рис.1.7. Приклад вимірювання штангенглибиноміром:**

Лівою рукою притиснути основу 1 до площини поверхні 3, а правою рукою довести штангу 2 до поверхні 4. Точна установка здійснюється гвинтом мікроподачі

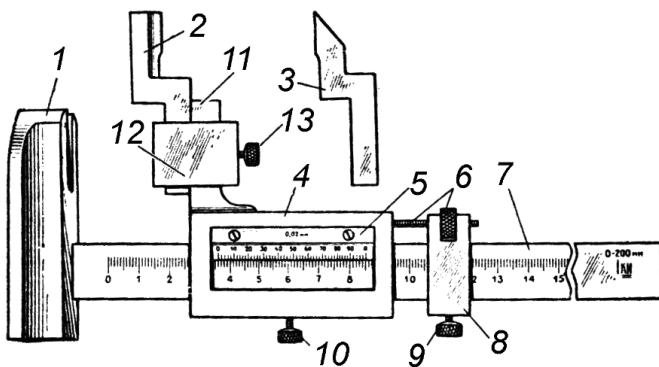
Приклад використання штангенглибиноміра та сукупність вимірювальних процедур демонструється на рис.1.7.

#### 1.2.4. Штангенглибиномір

Конструкція глибиноміра подана на рис.1.6. Бачимо, що бут базовим елементом, тобто стояком, є основа, а переміщенню підлягає штанга. Решта деталей та ж сама, що і в штангенциркулях. Перед початком вимірювань також необхідно вивіряти нуль інструмента. Для цього встановлюють штангенглибиномір на площину вивірки і спостерігати нульові покази шкал.

#### 1.2.5. Штангенрейсмус

Інструмент призначений для вимірювання висоти та розмічувальних робіт, його конструкція показана на рис.1.8.

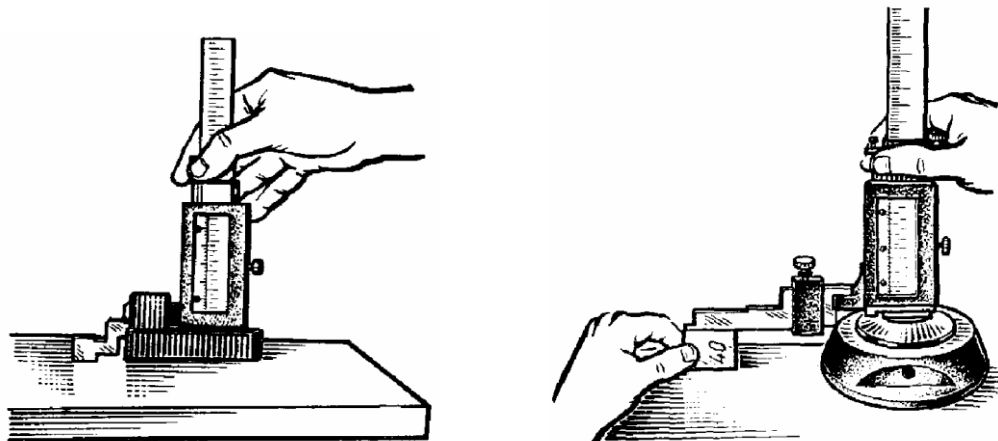


**Рис.1.8. Конструкція штангенрейсмуса:**

1 – основа, 2 – вимірювана ніжка, 3 – розмічувальна ніжка, 4 – каретка, 5 – ноніус, 6 – гвинтова пара мікрометричної подачі, 7 – штанга, 8 – рамка мікрометричної подачі, 9 – затискач рамки мікрометричної подачі, 10 – затискач каретки, 11 – губа каретки, 12 – кріпильна рамка, 13 – затискач кріпильної рамки

При користуванні штангенрейсмусом необхідна наявність вивіреної на площинність плити, допуски якої становлять  $\approx 1/10$  поділки інструмента. На разі

відсутності такої плити користуються плиткою кінцевої міри довжини відповідних розмірів. При підготовці штангенрейсмуса до роботи необхідно зібрати його у вигляді, один із варіантів якого показаний на рис.1.8, оскільки інструмент зберігається в розібраному вигляді.



*Рис.1.9. Вивірка нуля та перевірка працездатності інструмента*

Суть складання – це установка вимірюваної або розмічувальної ніжки на губі каретки з допомогою кріпильної рамки, причому необхідна ніжка встановлюється нижче вказаної губки.

Якщо складання здійснене правильно і працездатність інструмента не порушена, а нижня площина наконечника виведена по вимірювальній плиті в площину основи, то нульові штрихи ноніуса і штанги збігаються.

У цьому й полягає вивірка нуля інструмента.

### **1.3. Правила експлуатації штангенциркулів та вимірювальні процедури**

#### **1.3.1. Правила експлуатації**

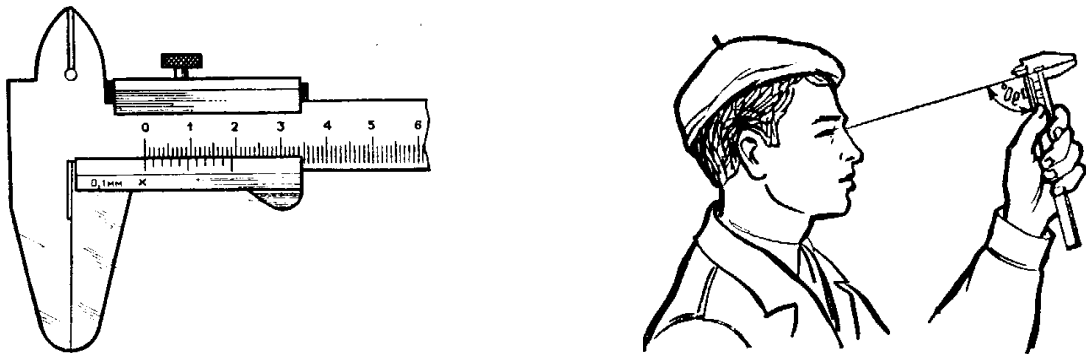
Якісний інструмент – запорука якісного вимірювання геометричних параметрів виробів техніки, без чого неможлива якість продукції взагалі.

Правила експлуатації інструментів прості, і *перше* з них – необхідно усвідомити, що інструмент використовується лише за призначенням.

*Друге.* Інструмент регулярно промивають бензином, змащують індустріальним (або іншим) мастилом, утримують в окремому футлярі.

*Третє.* Зводять вимірювальні поверхні і спостерігають наявність “просвіту” між губками а також їх паралельність (рис.1.10). Допускається відхилення від паралельності з просвітом до 0,015 мм. У такому разі контури зовнішніх

об'єктів через провіт не спостерігаються. Мінімальна ширина провіту, що фіксується оком, становить 3 - 5 мкм.



*Рис.1.10. Вивірка нуля штангенциркуля та перевірка паралельності губок на "провіт"*

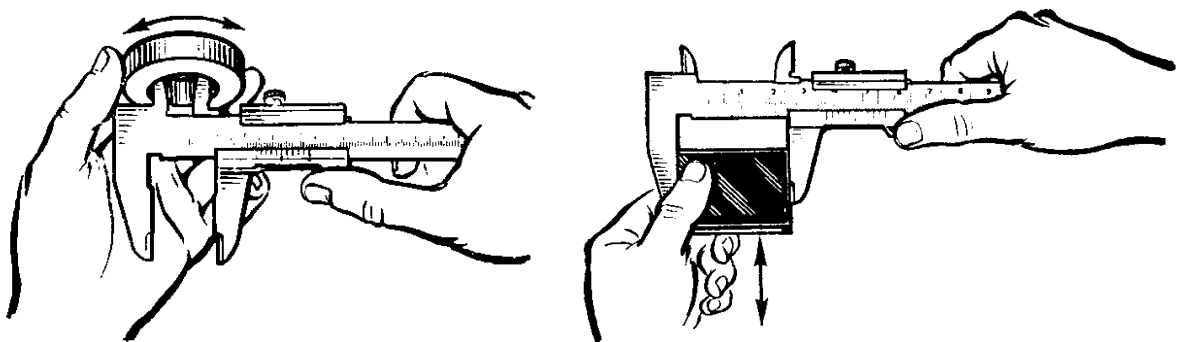
*Четверте.* Перед початком вимірювань проводиться вивірка нульового положення шкали: нульові штрихи основної шкали та ноніуса мусять збігатися.

*П'яте.* По завершенні робіт ослабити затискачі, інструмент протерти, змастити мастилом, дещо розвести вимірювальні губки й покласти в футляр.

Правило вивірки нуля (або вихідного положення) стосується всіх інструментів, у тому числі й приладів.

### **1.3.2. Вимірювання штангенциркулем**

При вимірах зводять вимірювальні губки до щільного дотику з поверхнями деталі, яка підлягає вимірам, уникаючи перекосів та похитування. Зняття показів для всіх інструментів проводять після досягнення нормального зусилля притискання губок до поверхонь. Під нормальним зусиллям притискання розуміють таке, що дозволяє відносний рух поверхонь деталі та вимірювальних губок, як це показано на рис.1.11..

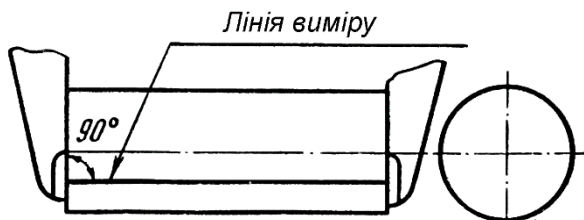


*Рис. 1.11. Демонстрація нормальних вимірювальних зусиль на деталь*

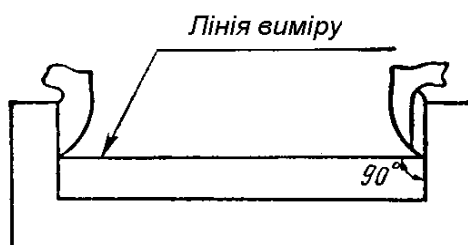
Далі гальмують каретку затискачем і зчитують покази, не роз'єднуючи деталь та інструмент. Роз'єднання проводять в поодиноких випадках, при немож-

ливості зчитування в спряженні, оскільки в процесі роз'єднання можливий взаємний перекид деталі та інструмента, який приведе до помилок у вимірюваннях.

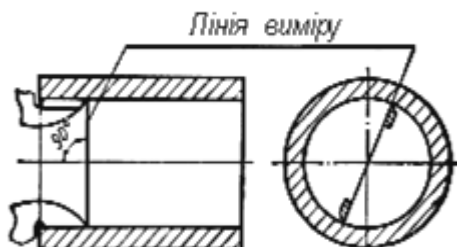
Особлива увага приділяється положенню губок відносно вимірювальних поверхонь. Як видно із рисунків 1.12, 1.13, 1.14 вимірювальні площини губок мусять бути строго перпендикулярні лінії вимірювання.



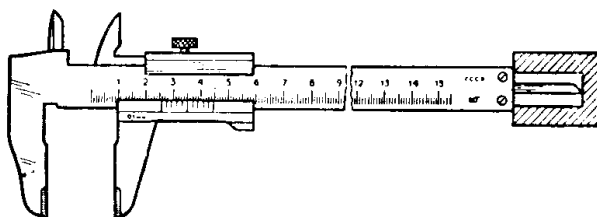
*Рис. 1.12. Положення губок відносно зовнішніх поверхонь, що вимірюються*



*Рис. 1.13. Положення губок відносно внутрішніх паралельних поверхонь*



*Рис. 1.14. Положення губок відносно внутрішніх циліндричних поверхонь*

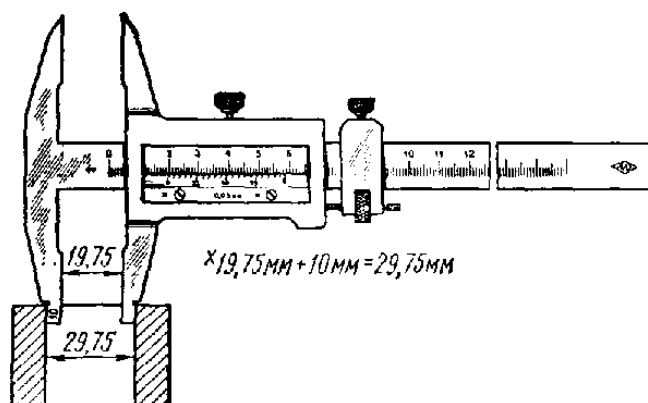


*Рис. 1.15. Положення лінійки глибиноміра відносно деталі, що підлягає заміру*

Мовлене вище стосується всіх типів штангенциркулів, хоча на рисунках показана конструкція губок ШЦ-I.

Перейдемо до розгляду ШЦ-II, ШЦ-III (рис. 1.4, 1.5). Спільним для цих інструментів є наявність рамки мікрометричної подачі та конструкція вимірюваль-

них губок. Мікрометрична подача включає рамку 5, гвинтову пару 8, затискуючий гвинт 6. Використовується переважно для точного встановлення наперед заданих розмірів при розмітках координат отворів, вимірах великих розмірів тощо. Для точного переміщення рухомих губок відпускають затискач основної рамки, тоді як гвинт малої затискають. Точна установка здійснюється обертанням гайки гвинтової пари в належний напрям.



*Рис. 1.16. Зчитування показів при внутрішніх вимірюваннях для ШЦ-II, ШЦ-III*

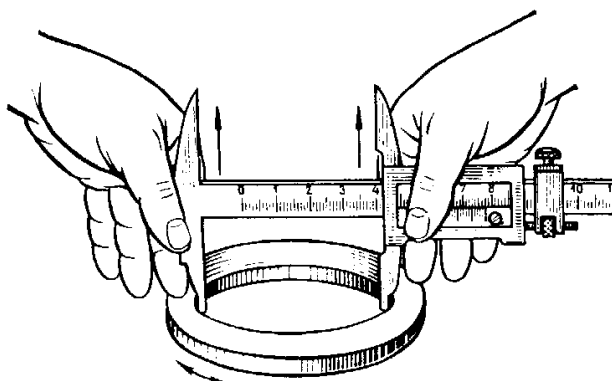
Для зовнішніх поверхонь вимірювання практично не відрізняються від розглянутого вище. Відмінність спостерігається при внутрішніх вимірюваннях, оскільки у вимірювальний ланцюг включається товщина губок (рис. 1.16).

Бачимо, що істинний розмір складається із безпосередніх показів за шкалою інструмента та сумарної товщини губок, значення якої записано гравіруванням на їх лицевій стороні. Зазначимо, що зовнішні сторони губок, які використовуються для внутрішніх вимірювань, з метою точкового контактування з поверхнями вимірювальних деталей заокруглені.

При вимірюваннях великого внутрішнього діаметра виникають проблеми відчуття вимірювального зусилля, необхідного для належної точності вимірювань. У зв'язку з цим методика проведення вимірювання полягає в наступному (рис. 1.17). Попередньо встановлюють розмір дещо меншим за наявний, вводять губки в отвір, що підлягає вимірюванню, і, далі розсуваючи рамку, легко притискають губками до вимірювальних поверхонь. Разом із цим не допускають перекосів, притискаючи губки вниз до упора в площину отвору. Далі, використовуючи мікроподачу рамки, одночасно переміщують погойдуванням губку рамки, залишаючи нерухомою губку штанги. Такі процедури виконують доти, поки не досягається легкий контакт при відсутності поперечного биття штангенциркуля. Для запобігання перекосів при переміщенні інструмента у вертикальному напрямі



необхідно опиратися на середні пальці рук, які встановлюють біля губок, як це показано на рис. 1.17.



*Рис. 1.17. Методика вимірювань розмірів отворів великих діаметрів*

Нагадуємо, що при вимірюваннях великих розмірів необхідно користуватись рамкою мікрометричної подачі із відпущеним гвинтом основної рамки.

## **1.4. Мікрометричні інструменти**

### **1.4.1. Загальна характеристика**

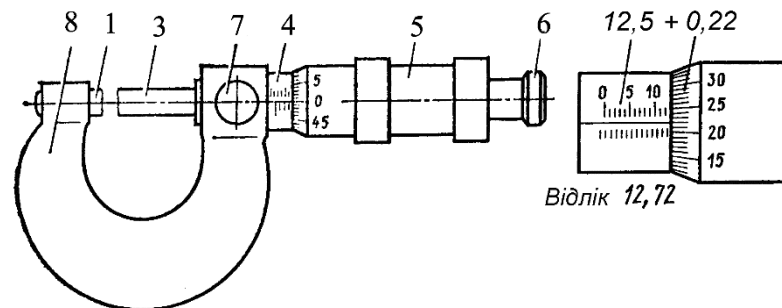
До основних мікрометричних інструментів належать мікрометри, мікрометричні глибиноміри, мікрометричні нутрометри. На відміну від штангенінструментів, у даному класі інструментів використовується механічна система перетворення обертового руху в поступальний. Через це мікрометричні інструменти необхідно відносити до приладів, хоча їх називають інструментами. Механізмом цього перетворення є гвинтова пара, для якої поздовжнє переміщення гвинта прямо пропорційне кроку нарізки й куту повороту гвинта. Метод вимірювання – прямий, абсолютний.

Базовим елементом в мікрометрі, тобто стояком, виступає гайка як нерухома частина, тоді як обертанню підлягає гвинт, внаслідок чого обертовий рух перетворюється в поступальний.

### **1.4.2. Конструкція мікрометричних інструментів**

Розглянемо мікрометр як основний мікрометричний інструмент для точних зовнішніх вимірювань гладких поверхонь. Промисловість випускає мікрометри МК з рядами типорозмірів, вимірювальні межі яких складають  $\{0 - 25\}$ ,  $\{25 - 50\}$  і т.д., аж до  $\{575 - 600\}$  мм. До мікрометрів із межами вимірювання понад 25 мм додаються установочні міри для вивірки нульового положення. Мікрометри з

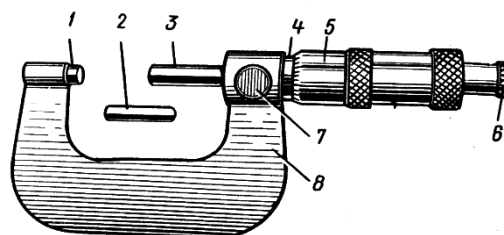
верхньою межею більше 300 мм виготовляються із змінною або пересувною п'яткою для розширення діапазону вимірювання від 25 до 100 мм. Вимірювальне переміщення мікрометричного гвинта для всіх типорозмірів незмінне і складає 25 мм. В основі ряду є базова конструкція з межами вимірювання  $\{0 \div 25\}$  мм, яка представлена на рис. 1.18.



**Рис.1.18. Базова конструкція мікрометрів:  
мікрометр МК з межами замірів  $\{0 \div 25\}$  мм:**

1 – п'ята, 2 – установочна міра, 3 - стержень мікрометричного гвинта, 4 – стебло з основною шкалою, 5 – барабан з круговою шкалою, 6 – тріщалка, 7 – стопор, 8 – скоба

Наступна конструкція (рис. 1.19) відрізняється збільшеним розміром скоби та наявністю установочної міри довжиною 25 мм. Далі, із зростанням типорозміру, збільшуються розмір скоби та установочної міри на 25 мм. Базовим елементом мікрометра виступає скоба, до якої нерухомо приєднана п'ята 1 як вимірювана база та стебло 4 із внутрішньою гайкою, крок нарізки якої складає 0,5 мм. Рухомою частиною є барабан 5 з маховичком приводу обертового руху 6, до яких приєднаний вимірювальний гвинт-стержень 3, який разом із барабаном обертається й переміщується поступально, затискуючи таким чином поверхню деталі, яка вимірюється.

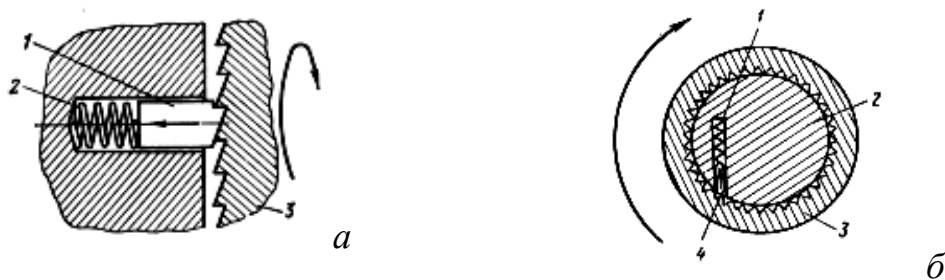


**Рис. 1.19. Мікрометр МК із ряду типорозмірів:**

1 – п'ята, 2 – установочна міра, 3 - стержень мікрометричного гвинта, 4 – стебло з основною шкалою, 5 – барабан з круговою шкалою, 6 – тріщалка, 7 – стопор, 8 – скоба

Маховичок 6 приєднаний до барабана не безпосередньо, а через так зване тріщало – механізм, який пробуксовує, якщо зусилля притиску вимірювального стержня на деталь перевищує  $7 \div 5$  Н. Цей механізм виконує дві функції. По-перше, на разі перевищення зусиль притиску попереджується руйнування нарізки гвинтової пари. По-друге, запобігається деформація поверхонь деталі, що пі-

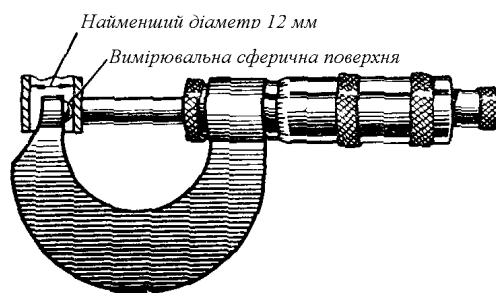
для замірів, при наявності якої будуть спотворюватись результати замірів в бік зменшення. Конструкції механізмів тріщало показані на рис. 1.20.



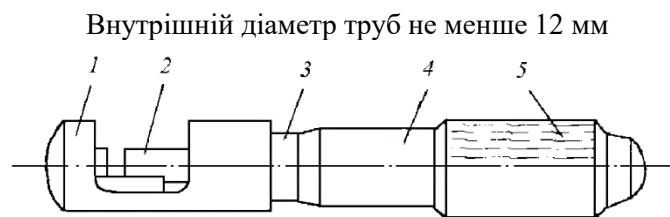
**Рис. 1.20. Конструкції тріщала**

- а) тріщало з торцевими зубцями:** 1 – штифт, 2 – пружина, 3 – храповик;  
**б) тріщало із зубцями на циліндричних поверхнях:** 1 – пружина, 2 – ведений циліндр (притискується до торця гвинта), 3 – шліцева втулка-маховик, 4 – штифт

Випускаються модифікації мікрометрів, конструкції яких зображені на рисунках 1.21–1.23.

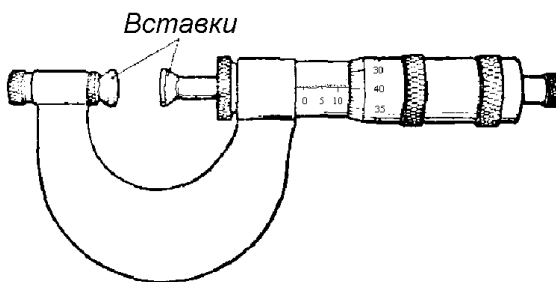


**Рис. 1.21. Мікрометр МТ для вимірювання стінок труб**



**Рис. 1. 22. Мікрометр МП для вимірювання дроту**

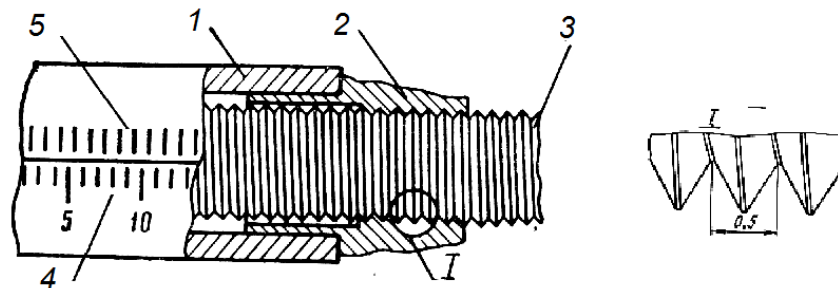
- 1 – корпус, 2 – стержень мікрометричного гвинта, 3 – стебло, 4 – барабан, 5 – тріщало



**Рис. 1.23. Мікрометр МВП зі вставками діаметром 12мм для вимірювання розмірів деталей із пластичних матеріалів**

### 1.4.3. Вимірювана система мікрометра

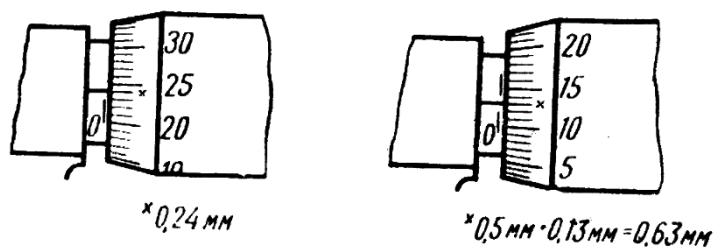
Системи відліку мікрометричних інструментів принципово однакова. Вона має два відлікових пристроїв. Перший, основна шкала – міліметрова, розміщена на поверхні стебла (рис. 1.24). Складається із двох паралельних лінійних шкал з ціною поділки  $0,5\text{ мм}$ , нанесених вздовж твірної циліндра стебла. Нижня шкала цифрована, є основною, по ній здійснюють відлік в міліметрах. Верхня шкала зміщена на  $0,5\text{ мм}$ . За один оберт барабана його торець стержня здійснює лінійне переміщення на один крок гвинта, тобто від нижнього штриха до верхнього, що складає вказані  $0,5\text{ мм}$ .



**Рис. 1.24. Конструкція гвинтового механізму мікрометра та його основна шкала:**

- 1 – стебло, 2 – гайка-втулка з розрізним цанговим наконечником (не показаний),
- 3 - рухомий стержень-гвинт, 4 – основна міліметрова шкала, 5 - допоміжна міліметрова шкала

Другий відліковий пристрій (рис. 1.25) складається із кругової шкали з числом поділок  $n = 50$ , нанесеної на конічній частині поверхні барабана ціна поділки  $0,01\text{ мм}$ .



**Рис. 1.25. Відліковий пристрій мікрометричних інструментів**

Очевидно, що за один повний оберт барабана поздовжнє переміщення гвинта відповідає одному кроку при однозаходній нарізці. Зважаючи на те, що в мікрометричних інструментів крок нарізки  $t$  складає  $0,5\text{ мм}$ , ціна поділок, нанесених на барабані, буде:  $\Delta n = t/n = 0,5/50 = 0,01\text{ мм}$ .

Зняття показів по барабану показано на рис. 1.25. По лівому рисунку на нижній шкалі читаємо, що кількість повних міліметрів дорівнює нулю. По барабану кількість поділок складає 24, тобто шпарина  $s$  поміж площинами вимірювальних наконечників складає відстань  $0,01 \times 24 = 0,24$  мм.

На правому рисунку відкрився верхній штрих, барабан вже здійснив повний оберт, а стержень перемістився на відстань 0,5 мм, тобто

$$s = 0,5 \text{ мм} + 13 \times 0,01 \text{ мм} = 0,63 \text{ мм}.$$

#### 1.4.4. Правила експлуатації мікрометричних інструментів

Перед початком вимірювань необхідно: 1) протерти вимірювальні поверхні; 2) провести вивірку нуля, а в разі відсутності нульових показів на шкалах мікрометра – встановити спеціальним регулюванням.

*Протирання* можна проводити двома способами: папером або м'якою тканиною. Папір притискують вимірювальними площинами із зусиллям, яке дозволяє поперечне переміщення його і, таким чином, прочистити поверхні від забруднення. При використанні тканини вимірювальні наконечники розводять на відстань, достатню для того, щоб вставити палець, покритий тканиною, і витерти притиском наконечники. Витирати безпосередньо пальцем не рекомендується, так як після цього може спостерігатись корозія металу.

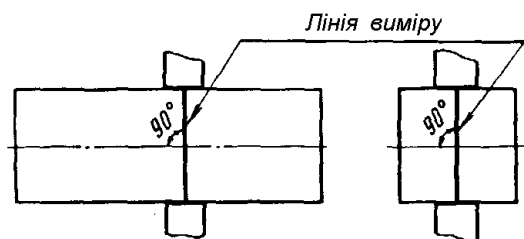
Для *вивірки нульового положення* мікрометра звести вимірювальні поверхні мікрометра безпосередньо або з установочною мірою до появи звукових сигналів обертанням маховичка тріщала. При цьому нульовий штрих барабана мусить збігтися з поздовжньою лінією стебла, а скіс барабана відкрити нульовий штрих стебла.

При неправильних показах потрібно встановити нуль. Для цього необхідно: 1) доторкнутися вимірювальними наконечниками до спрацьовування тріщала; 2) закріпити мікрогвинт стопором; 3) роз'єднати барабан із мікрогвинтом; 4) встановити барабан в необхідне положення й закріпити його; 5) провести повторну вивірку нуля.

*Вимірювання* мікрометром проводять “з руки” або встановлюють мікрометр у спеціальний стояк. Його використання дозволяє вивільнити ліву руку від утримання мікрометра, що спрощує процедуру фіксації деталі в процесі вимірів. Скоба мікрометра закріплюється під кутом, близьким до  $45^{\circ}$ , що забезпечує достатню оглядовість шкал стебла. При вимірюванні діаметра циліндричних поверхонь лінія вимірювання мусить бути перпендикулярною твірній і проходити че-

рез вісь циліндра. При вимірюванні відстані між паралельними площинами лінія вимірювання мусить бути перпендикулярною цим площинам.

Геометрія вимірювань показана на рисунку 1.26.

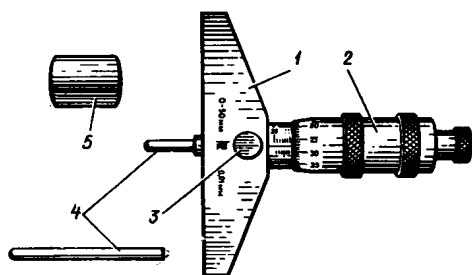


*Рис. 1.26. Взаємні розміщення інструмента та деталей при вимірюваннях*

Обертання мікрогвинта проводять тільки з використанням насіченого наконечника барабана до появи специфічного тріскоту, що свідчить про встановлення силового контакту між поверхнями вимірювальних наконечників мікрометра та поверхні вимірювання. Для перевірки відсутності перекосів деталей та мікрометр взаємно повертають або погойдують.

#### **1.4.5. Загальна характеристика інших мікрометричних інструментів**

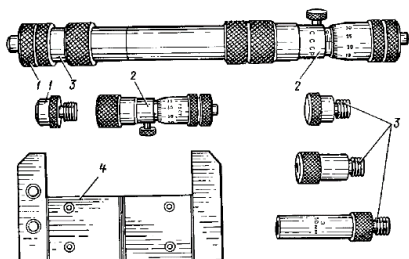
*Мікрометричний глибиномір* ГМ (рис. 1. 27) використовується для точних вимірювань глибини отворів, пазів тощо. Межі вимірювань глибини можна змінювати заміною різних за довжиною вимірювальних наконечників, доданих до комплекту. Відлікові системи ГМ дещо відрізняються від аналогічних у мікрометрах. При закручуванні мікрогвинта в ГМ цифрові відлікові покази не зменшуються, як у мікрометрах, а збільшуються. Тому цифри на шкалах нанесені у зворотному напрямі: на стеблі збільшуються справа наліво, а на барабані збільшуються за годинниковою стрілкою. Крім цього, основна цифрована міліметрова шкала нанесена на верхній половині стебла, а нецифрована – на нижній.



*Рис. 1.27. Мікрометричний глибиномір ГМ:*

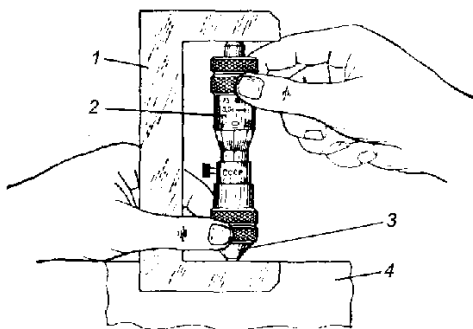
- 1 – основа, 2 – мікрометрична головка, 3 – стопор,
- 4 – змінні вимірювальні стержні,
- 5 – установочна міра

Мікрометричний нутрометр НМ призначений для точних вимірювань внутрішніх розмірів. Зовнішній вигляд НМ наведений на рис. 1.28. Вимірювальні межі кожного комплекту можуть змінюватись у залежності від довжини подовжувачів. В комплект входять також установочні міри, які призначені для вивірки нуля інструмента.



**Рис. 1.28. Мікрометричний нутрометр МН;**

- 1 – вимірювальний наконечник,
- 2 – мікрометрична головка,
- 3 – продовжувачі, 4 – установочна міра



**Рис. 1.29. Приклад вимірювання (та вивірки) нутрометром:**

- 1 – установочна міра, 2 – мікрометрична головка, 3 – наконечник, 4 – корпус міри

При проведенні вимірювань виникають деякі ускладнення з підбором подовжувачів із числа наявних. В інструкції з експлуатації описані принципи підбору, суть яких полягає в тому, що їх кількість мусить бути мінімальною.

# **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1**

## **Вивчення конструкцій та правил експлуатації штангенциркулів і мікрометрів**

### **Мета роботи:**

- вивчення конструкцій вимірювальних інструментів;
- набуття навичок проведення технічних вимірювань.

### **Завдання до роботи**

1. Вивчення конструкцій вимірювальних інструментів.
  - 1.1. Вивчення конструкцій штангенінструментів:
    - 1.1.1. Штангенциркуль;
    - 1.1.2. Штангенглибиномір;
    - 1.1.3. Штангенрейсмус.
  - 1.2. Вивчення конструкцій мікрометричних інструментів:
    - 1.1.4. Мікрометр;
    - 1.1.5. Мікрометричний нутрометр.
2. Вивчення правил експлуатації, набуття навичок проведення вимірювань та зняття відліків вказаними інструментами.

### **Обладнання, пристосування, матеріали**

Штангенінструменти ШЦ-1, ШЦ-2, ШЦ-3, штангенрейсмас, штангенглибиномір, мікрометричні інструменти, стояки для кріплення мікрометрів, деталі проведення вимірювань, матеріал для протирки, технічне мастило.

### **Методика виконання роботи**

1. Отримати від керівника занять допуск до роботи, навчально – методичний матеріал, інструменти та деталі для вимірювань.
2. Вивчення конструкцій інструментів зводиться до:
  - зарисовки ескізів зовнішнього вигляду;
  - запису специфікацій їх складових частин;
  - зарисовки шкал інструментів із записом результату відліку по ситуативних фрагментах, що подаються на рисунках.Для виконання цих робіт використовуються відповідні графічні ескізи інструментів та безпосередньо інструменти, які отримав студент для виконання роботи.



3. Освоїти правила експлуатації штангенінструментів, які подані у відповідних рубриках даної інструкції.
4. Зарисувати ескіз деталі, елементи яких будуть підлягати вимірюванням штангенциркулями.
5. Провести вимірювання елементів вказаної вище деталі й проставити розміри на ескізі згідно з вимогами ЄСКД.
6. Освоїти техніку вимірювань іншими штангенінструментами, вказаних у завданні до роботи.
7. Освоїти правила експлуатації, техніку вимірювань та зняття відліків мікроінструментами.

**Примітка.** В обов'язковому порядку обговорити з керівниками занять правила експлуатації інструментів, що є допуском до експлуатації інструментів.

На завершення виконання роботи демонструється вміння практично використовувати інструменти.

### **Контрольні запитання**

1. З яких процедур необхідно розпочинати процес вимірювань?
2. Охарактеризувати будову, технічну назву складових вузлів, деталей інструментів, які підлягали вивченню.
3. Продемонструвати на практиці вміння проводити вимірювання.
4. В якому із інструментів спостерігається перетворення руху за допомогою елементарного механізму?
5. Який технічний елемент використовуються для замикання кінематичних пар у штангенінструментах?
6. Як конструктивно усувається мертвий хід гвинтової пари в мікрометричних інструментах?
7. Які деталі інструментів є базовими?
8. На яких деталях інструментів розміщені додаткові шкали?
9. З якою точністю можна оцінити “на око” положення реперної мітки між двома рисками шкали?
10. В яких інструментах використовується лише прямий (безпосередній) спосіб вимірювань, а в яких може використовуватись також і відносний?

## Тема 2. Метрологічне забезпечення єдності лінійних вимірювань

### 2.1. Терміни та визначення

**МЕТРОЛОГІЯ** [зр. *metron* міра, *metreō* вимірюю; *logos* слово, поняття, вчення] – 1) наука про вимірювання фізичних величин, що займається створенням еталонів одиниць вимірів, вивчає та розробляє методи та методики точних вимірів, а також засоби забезпечення єдності вимірювань; 2) допоміжна історична дисципліна, яка вивчає системи власних одиниць фізичних величин в окремих країнах, а також грошові одиниці в їх історичному розвитку.

**ФІЗИЧНА ВЕЛИЧИНА (ФВ)** - якісно означена фізична властивість об'єктів (фізичних тіл, їх станів, процесів), яка може мати певну розмірність.

Приклади ФВ: довжина, маса, швидкість, прискорення, сила електричного струму, магнітна індукція, сила світла тощо.

**ВИМІРЮВАННЯ** - знаходження значень фізичних величин дослідницьким шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів, які зберігають одиницю ФВ та дають змогу порівнювати з нею вимірювану ФВ.

Для уніфікації вимірювань в міжнародному масштабі створена Міжнародна система одиниць фізичних величин *SI*.

**УНІФІКАЦІЯ** [лат. *unus* (*uni*) один; *facere* робити] – приведення чого-небудь до єдиної системи, форми, однообразності.

**МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ**  
реалізоване створенням еталонів фізичних величин.

**ЕТАЛОНИ** одиниць фізичних величин – засоби вимірювань або комплекси засобів вимірювань, які офіційно затверджені як еталони для відтворення одиниць фізичних величин з найвищою точністю, що досягається на сьогоднішній день. Вироби техніки, призначені для використання в якості еталонів одиниць фізичних величин, лише тоді будуть вважатися еталонами, якщо над ними здійсниться процедура *атестації*.

**МІРИ** – тіла, речовини та пристрої, призначені для відтворення конкретних одиниць фізичної величини, а також ті об'єкти, які кратні їм або є їх частки.

**АТЕСТАЦІЯ** – процедура встановлення відповідності наявних характеристик чи параметрів будь-яких об'єктів, в тому числі еталонів фізичних величин та мір, наперед заданими величинами, які прийняті в якості нормативних для даного класу об'єктів. Атестація проводиться державними службами метрології, стандартизації та сертифікації (надалі – компетентними органами).

При зберіганні та експлуатації мір можлива втрата їх метрологічних властивостей. Тому службами метрології здійснюється періодичний нагляд за еталонами (мірами), який полягає у перевірці умов зберігання еталонів, технічного стану та метрологічних властивостей. Для кожного класу

еталонів встановлені відповідні терміни такого контролю, а саму процедуру називають *повіркою*.

**ЗРАЗКОВІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ** – це вироби техніки, які служать для передачі одиниці фізичної величини *від еталону ФВ* до мір, вимірювальних приладів або перетворювачів і які затверджені компетентними органами як зразкові.

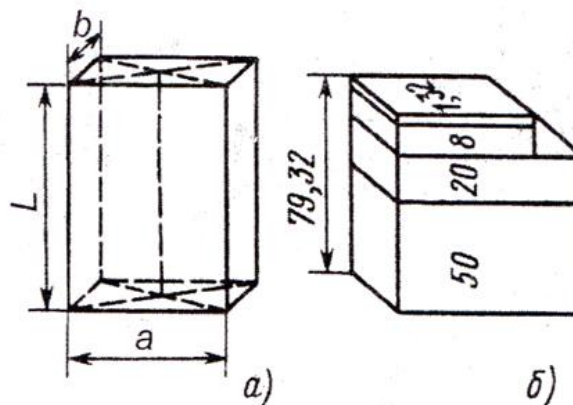
**РОБОЧІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ** – це такі вироби (міри, пристрої або прилади), які застосовуються для вимірювань, не пов'язаних з передачею одиниці фізичної величини.

Наприклад, кінцева міра довжини, атестована за класами, виступає як робочий засіб, якщо вона використовується для вимірювання розмірів деталей, наладки станків, інше.

**ГРАДАЦІЯ** [лат. gradatio поступове підвищення; gradus ступінь, степінь] - закономірна послідовність, поступовість в розміщенні чого-небудь, членування процесів на етапи, ступені.

## 2.2. Загальна інформація про міри

**2.2.1.** Міри довжини кінцеві плоскопаралельні (ПКДМ) є мірами лінійного розміру і складають основу лінійних вимірів у техніці; являють собою прямокутні сталеві плити (рис.1) з двома паралельними (робочими) дзеркально відполірованими поверхнями. Відстань між цими поверхнями складає номінальний розмір, який гравірується на одній із бічних сторін пірамідок. Для мір з розміром до 5,5 мм включно - на робочій (полірованій) поверхні, а для мір 6 мм і більше – на неробочій поверхні.



**Рис 2.1.** Плоскопаралельні кінцеві міри довжини

Рис. 2.1 а - розміри мір: L – номінальний, а × b – неробочих сторін пірамідок;  
2.1 б - блок кінцевих мір та маркування окремих плиток

**2.2.2.** За призначенням кінцеві міри поділяють на:

- зразкові міри, які **використовуються** для передачі розміру одиниці довжини від первинного еталона до кінцевих мір меншої точності, а також до виробів (інструментів, приладів, деталей) включно;
- робочі міри, які **використовуються** для:

- 1) особливо точних лінійних вимірів та особливо точних слюсарних робіт при розмітці центрів отворів, тощо;
- 2) для вивірки шкал вимірювальних інструментів (штангенциркуль, мікрометр та інше), а також їх установки на початкові відліки;
- 3) для градуювання та встановлення точності вимірювальних приладів лінійних вимірювань, таких як індикатори годинникового типу, міні- та мікрокатори, оптикатори, оптиметри, інше;
- 4) для вивірки шкал механізмів переміщення різального інструменту та столів верстатів, їх установки та наладки.

**2.2.3.** За ГОСТ 9038-90 номінальні значення довжини кінцевих мір відповідають указаним в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Номінальні значення довжини кінцевих мір та градація розмірів

Номінальні значення довжини кінцевих мір	Розмір поперечного перетину $a \times b$	
	a	b
Від 0.1 до 0.2	15 <sup>-0.45</sup>	5 <sup>-0.3</sup>
Від 0.20 до 0.29	15 <sup>-0.45</sup>	9 <sup>-0.05</sup> -0.3
	30 <sup>-0.3</sup>	
Від 0.29 до 0.6	20 <sup>-0.3</sup>	
	30 <sup>-0.3</sup>	
Від 0.6 до 10.1		
Від 10.1 до 1000	35 <sup>-0.3</sup>	

Виготовлення плиток товщиною менше одного міліметра недоцільно, так як вони деформуються при обробці до потрібного номінального розміру. Але разом з тим при переліку мір в деяких наборах зустрічаємо розміри менше 1 мм; особливо поширена міра 0,5 мм.

Матеріали плиток – леговані сталі підвищеної прогартовки, зокрема сталь 12Х1 ГОСТ 5950 – 90.

**2.2.4.** Набори мір кінцевих. Переважно міри комплектують у набори (рис.2.2), хоча за спеціальним замовленням завод-виробник може відпускати окремі плитки потрібного номінального розміру. Приклад комплектації мір в наборі з присвоєним номером набору поданий в табл. 2.2.

Інколи, для запобігання швидкого зносу мір, до комплекту набору мір додають захисні змінні плитки. В зібраному блоці мір їх розміщують на краях, до того ж одна із сторін завжди дотикається тільки з вимірювальним об'єктом, а інша – тільки з крайньою мірою блоку. Для цього на сторону, яка дотикається з

вимірювальним об'єктом, наносять особливі пізнавальні знаки. При підрахунках розміру блоку необхідно враховувати розміри захисних мір.

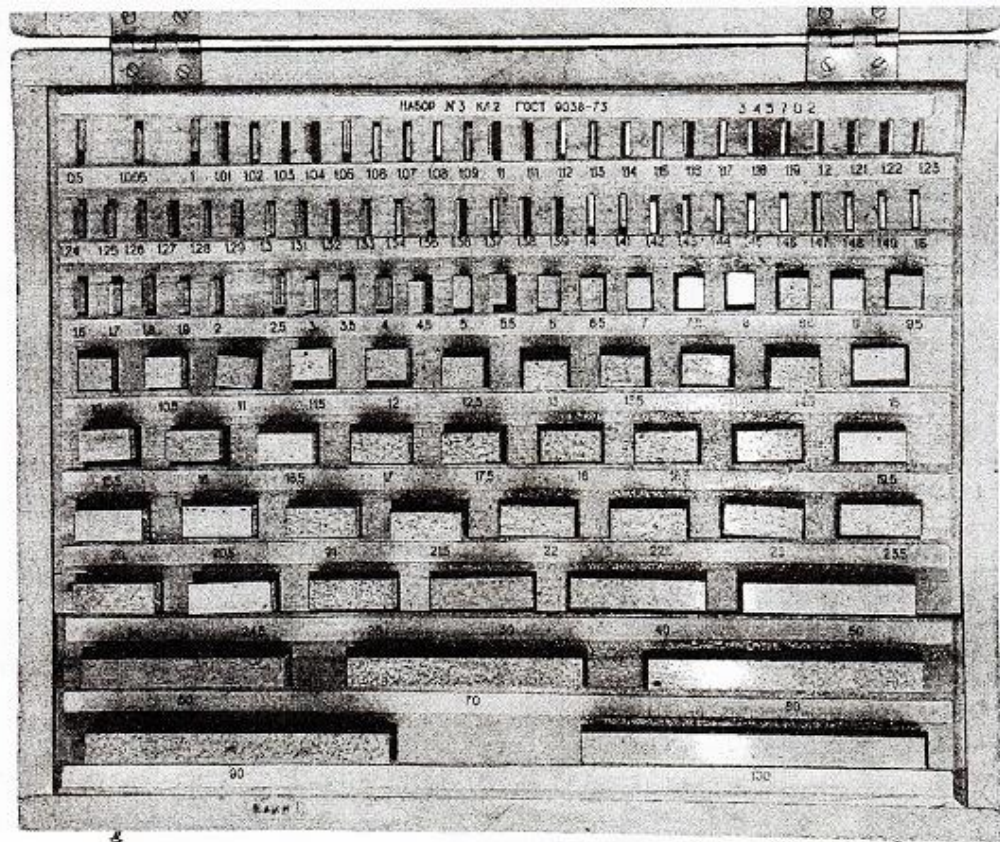


Рис.2.2. Набор мір: 83 шт

Приклади умовних позначень мір в технічній документації:

Набір № 1 кінцевих мір із сталі класу точності 2:

*Кінцеві міри 2-Н1 ГОСТ 9038-90*

Набір № 2 кінцевих мір із твердого сплаву класу точності 1:

*Кінцеві міри 1-Н2-Т ГОСТ 9038-90*

Кінцева міра довжиною 1,49 мм із сталі класу точності 3:

*Кінцева міра 3-1,49 ГОСТ 9038-90*

Набір № 3 зразкових кінцевих мір 2-го розряду:

*Кінцеві міри зразкові 2НОЗ ГОСТ 9038-90*

Таблиця 2.2 - **Набори кінцевих плоскопаралельних мір довжини**

Номер набору	Кількість мір в наборі	Градація мір, мм	Номінальні значення довжини мір, мм	Число мір	Класи точності наборів	
					Зі сталі	З твердого сплаву
1	83		1.005	1	0; 1; 2; 3	1; 2; 3
			Від 1 до 1.5 включно	51		
			Від 1.6 до 2 включно	5		
		0.5	0.5	1		
			Від 2.5 до 10 включно	16		
		10	Від 20 до 100 включно	9		
2	38	–	1.005	1	1; 2; 3	1; 2; 3
		0.01	Від 1 до 1.1 включно	11		
		0.1	Від 1.2 до 2 включно	9		
		1	Від 3 до 10 включно	8		
		10	Від 20 до 100 включно	9		

## 2.3. Розміри, точність, атестація мір кінцевих

### 2.3.1. Розміри мір кінцевих плоскопаралельних

Для нормування точності передачі розмірів еталона довжини необхідно уточнити поняття основних розмірів плиток (мір). До них відносять:

- *серединна довжина*  $AB$  кожної із мір – це довжина перпендикуляра, опущеної з центра однієї із робочих сторін плитки (прямокутника) на протилежну сторону; центр прямокутника розміщується на перетині його діагоналей (рис.2.1 а);

- *відхилення від паралельності* робочих сторін, яке визначається як найбільша різниця між серединною довжиною  $AB$  та товщиною в будь якій точці робочих сторін плиток;

- *відхилення від площинності* кожної із робочих поверхонь; вимірювання цієї характеристики не проводиться – вона підлягає контролю методом пробного скла (див. рис. 2.2); відхилення від площинності не повинно перевищувати десятої частини довжини хвилі по всій робочій поверхні плитки.

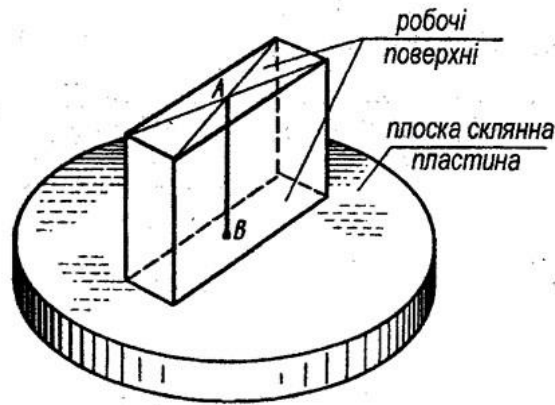


Рис. 2.3. Контроль площинності методом пробного скла

Пробне скло, як це показано на рис.2.2, виступає також як опорна площина при вимірюваннях серединної довжини інтерференційними методами.

### 2.3.2. Точність виготовлення та атестація мір

Виготовлені плитки можуть служити в якості мір лише після їх атестації метрологічними державними службами.

Як зазначалось, **атестація** – процедура встановлення відповідності наявних характеристик чи параметрів будь-яких об'єктів, в тому числі еталонів фізичних величин та мір, наперед заданими величинам, які прийняті в якості нормативних для даного класу об'єктів.

Щодо мір, то встановлено два підходи в процедурах атестації:

- атестація по розрядам, якій підлягають зразкові міри довжини;
- атестація по класам, якій підлягають робочі міри довжини.

Кінцеві міри при використанні в якості зразкових мусять бути повірені як зразкові за 1, 2, 3, або 4 розрядом за методикою МІ 1604-87.

Робочі міри підлягають атестації за ГОСТ 9038-90. В таблиці 2.3 подані допустимі відхилення від серединної товщини та від плоскопаралельності.

**Атестація за розрядами.** Атестація по розрядам – це атестація за точністю вимірювання. За атестацією по розрядам з допомогою вимірювань встановлюється дійсний розмір міри. Точність вимірювань залежить, взагалі кажучи, від способу вимірювань, а зокрема - від точності вимірювального приладу. З математичної точки зору, точність вимірювання визначається кількістю встановлених розрядів значущого числа. Звідси і походить назва – *атестація по розрядам*. Система встановлює кількість розрядів за вимірюваннями дійсного розміру серединної товщини мір. Результатом цієї атестації є представлення дійсних розмі-



рів кожної міри, яка входить в комплект, у вигляді атестату (паспорт); ці розміри проставляються в атестаті поруч з номінальним розміром міри.

Встановлено чотири розряди: 1, 2, 3 і 4, причому найточніші вимірювання властиві 1-му розряду. На міри цього розряду встановлюється п'ятий знак після коми. Наприклад, при номінальному розміру міри 10мм дійсний розмір складає 9,99997 мм. На міри 4-го розряду – четвертий знак. Проміжні розряди займають відповідно проміжне положення.

**Атестація за класами.** Атестація за класами – це атестація за точністю виготовлення. Точність виготовлення регламентується допуском  $T$ , тобто різницею між верхнім ( $es$ ) та нижнім ( $ei$ ) граничними відхиленнями. До прикладу, розміри на міру з номіналом  $10\text{ мм}$  в термінах понять “Єдиної системи допусків та посадок” (ЕСДП) можна записати  $10_{ei}^{es}$ . Отже, дійсний розмір міри повинен знаходитись в межах допуску  $T = es - ei$ . Чим менший цей допуск, тим вища точність виготовлення.

Створена система ступенів градації цих допусків, яка носить назву класів точності. Встановлено шість класів точності: 00, 01, 0, 1, 2, 3, причому “00” - найвищий клас. За таблицею 2.3, найвища точність виготовлення (клас “00”) для міри  $10\text{ мм}$  складає допуск  $T=0,06\text{ мкм}$ . Отже, дійсний розмір міри в  $10\text{мм}$  мусить знаходитися в межах від  $9,99997$  до  $10,00003\text{ мм}$ . При атестації за 3-ім класом (найнижча точність виготовлення)  $T=0,8\text{ мкм}$ , а відповідно дійсний розмір міри мусить бути в межах від  $9,9996$  до  $10,0004\text{ мм}$ .



Таблиця 2.3 - Допуски виготовлення кінцевих мір при атестації за класами

Номінальні значення довжини кінцевих мір	Допустимі відхилення											
	довжини від номінального значення $\pm$ , мкм, для класів точності						від плоско паралельності, мкм, для класів точності					
	00	01	0	1	2	3	00	01	0	1	2	3
До 0.29	—	—	—	0.20	0.40	0.80	—	—	—	0.16	0.30	0.30
Від 0.29 до 0.9	—	—	0.12	0.20	0.40	0.80	—	—	0.10	0.16	0.30	0.30
Від 0.9 до 10	0.06	0.20	0.12	0.20	0.40	0.80	0.05	0.05	0.10	0.16	0.30	0.30
Від 10 до 25	0.07	0.30	0.14	0.30	0.60	1.20	0.05	0.05	0.10	0.16	0.30	0.30
Від 25 до 50	0.10	0.40	0.2.	0.40	0.80	1.60	0.06	0.06	0.10	0.18	0.30	0.30
Від 50 до 75	0.12	0.50.	0.25	0.50	1.00	2.00	0.06	0.06	0.12	0.18	0.30	0.30
Від 75 до 100	0.14	0.60	0.30	0.60	1.20	2.50	0.07	0.07	0.12	0.20	0.35	0.40
Від 100 до 150	0.20	0.80	0.40	0.80	1.60	3.00	0.08	0.08	0.14	0.20	0.40	0.40
Від 150 до 200	0.25	1.00	0.50	1.00	2.00	4.00	0.09	0.09	0.16	0.25	0.40	0.40
Від 200 до 250	0.30	1.20	0.60	1.20	2.40	5.00	0.10	0.10	0.16	0.25	0.45	0.50
300	0.35	1.40	0.70	1.40	2.80	6.00	0.10	0.10	0.18	0.25	0.50	0.50
400	0.45	1.80	0.90	1.80	3.60	7.00	0.12	0.12	0.20	0.30	0.50	0.50
500	0.50	2.00	1.00	2.00	4.00	8.00	0.14	0.14	0.25	0.35	0.60	0.60
600	0.60	2.25	1.30	2.50	5.00	10.0	0.16	0.16	0.25	0.40	0.70	0.70
700	0.70	3.00	1.50	3.00	6.00	11.0	0.18	0.18	0.30	0.45	0.70	0.80
800	0.80	3.20	1.60	3.20	6.50	13.0	0.20	0.20	0.30	0.50	0.80	0.80
900	0.90	3.60	1.80	3.60	7.00	14.0	0.20	0.20	0.35	0.50	0.90	0.90
1000	1.00	4.00	2.00	4.00	8.00	16.0	0.25	0.25	0.40	0.60	1.00	1.00

В таблиці 2.4 приведені якість атестації, методи та технічні засоби, які використовуються для атестації мір.

Таблиця 2.4 - Якість, мір, методи та засоби атестації мір кінцевих

Розряди інцевих мір, що повіряються	Класи кінцевих мір, що повіряються	Методи та засоби вимірювань (або повірки) кінцевих мір	Розряди кінцевих мір, що повіряються	Класи кінцевих мір що повіряються	Методи та засоби повірки кінцевих МІР
1	00	Абсолютний інтерференційний метод вимірювання серединної довжини кінцевих мір в довжинах світлових хвиль	4	1	Технічний інтерференційний метод вимірювання серединної довжини кінцевих мір по мірам не нижче 3-го розряду
2	01	Відносний інтерференційний метод вимірювання серединної довжини кінцевих мір по мірам 1-го розряду на інтерферометрі Кестерса			Відносний контактний метод вимірювання серединної довжини кінцевих мір по мірам нижче 3-го розряду на контактному інтерферометрі типу ІКВП, ультраоптиметрі і оптикаторі з ціною проділки 0,1мкм
3	0	Технічний інтерференційний метод вимірювання серединної довжини кінцевих мір по мірам не нижче 2-го розряду	-	2 3	Відносний контактний метод вимірювання серединної довжини кінцевих мір по мірам 4-го та вищого розряду на оптиметрі типу ІКВ та оптикаторі з ціною проділки 0,2 мкм
		Відносний контактний метод вимірювання серединної довжини кінцевих мір по мірам 2-го і вищого розряду на кінцевому інтерферометрі типів ІКПВ і ІКПГ			

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### Метрологічне забезпечення єдності лінійних вимірювань (міри довжини кінцеві плоскопаралельні)

#### Мета роботи:

вивчення мір довжини кінцевих плоскопаралельних (МДКП) як вторинних еталонів мір довжини, що використовуються для передачі лінійного розміру від еталонів мір довжини до виробів

#### Завдання до роботи

1. Вивчення правил експлуатації кінцевих мір.
2. Провести розрахунки та зібрати блок мір з розмірами, вказаними керівником занять.
3. Оволодіння технікою використання пристосувань для проведення вимірювань з використанням мір.
4. Провести вимірювання охоплюючих та охоплених розмірів деталей з використанням мір та приналежностей до них.

#### Обладнання, пристрої, матеріали

Кінцеві міри довжини; набори приналежностей до мір; допоміжний вимірювальний інструмент (штангенциркуль, мікрометр); вимірювальні деталі; матеріал для притирання, розчинник.

#### Методика виконання роботи

**1. Отримати в керівника занять** навчально-методичний матеріал, матеріальну базу та завдання до роботи ( розмір блоку, який необхідно скласти і розрахувати).

**2. Ознайомитись** з мірами, вивчити та освоїти правила їх експлуатації

*2.1. Притирання мір.* Внаслідок високої гладкості та площинності робочих поверхонь (відхилення від площинності складає менше десятої частини хвилі видимого діапазону) плитки володіють властивостями притирання поміж собою по цим поверхням. (Притирання - це властивість зчеплення двох поверхонь при їх взаємному насунанні за рахунок сил молекулярної взаємодії). Але при сухому притиранні існує велика імовірність появи подряпин. Для запобігання такого руйнування робочі поверхні

змащують тонким шаром мастила. Дослідженнями встановлено, що при притиранні зчеплення двох поверхонь молекулярними силами тонкої рідинної плівки спостерігається при товщині цієї плівки близько  $0,02\text{ мкм}$ . Звідси випливає, що при змащуванні поверхонь з метою з'єднання декілька плиток в один блок похибкою сумарного розміру рідинної плівки поміж притертими поверхнями можна знехтувати, так як за табл.3 найвища точність виготовлення міри не перевищує  $0,06\text{ мкм}$ , в точність вимірювальних приладів (оптиметри) не перевищує  $0,1\text{ мкм}$ .

*2.2. Правила експлуатації мір.* Відібрані кінцеві міри, які призначені для складення блоку, попередньо очищують від мастила бавовняною серветкою, промивають чистим безводним та безкислотним бензином (Б-70 або “Галоша”), витирають насухо чистою серветкою. Далі, з допомогою спеціальної серветки, наносять тонкий шар рідкого мастила (марок “Індустріальне” або “Для побутових цілей”). Послідовність при складанні мір відповідає послідовності розрахунків блоку. Спочатку притирають плитки малих розмірів. Меншу міру накладають на більшу приблизно на третину довжини робочої поверхні, щільно притискають пальцями і просувають вздовж великої вісі до повного контакту (суміщення) робочих поверхонь. Якщо після цього з допомогою легкого зусилля не вдається роз'єднати зібрані міри, то їх вважають притертими. Далі до зібраного із цих плиток блоку аналогічним чином приєднують наступні міри із зростаючими розмірами. При завершенні роботи блок потрібно розібрати, плитки промити бензином і ретельно протерти, нанести мастило на кожну із мір і розмістити у відповідні гнізда футляра набору. Для запобігання появи подряпин на поверхнях необхідно виконувати наступні застереження:

- Не приводити в контакт попередньо неочищені плитки.
- Не брати робочі поверхні пальцями, а лише чистою серветкою.
- Не ставити робочими поверхнями на стіл, який не покритий серветкою (або папером).
- Не притирати робочу поверхню до неробочої, що неминуче веде до утворення подряпин на першій із них.

### **3. Провести розрахунки та зібрати блок мір**

Розміри мір указуються керівником занять.

*3.1. Розрахунки блоку та підбір мір.* Перед складанням блоку здійснюється числовий розрахунок необхідного лінійного розміру, виходячи із наявного набору кінцевих мір. Наш розрахунок базується на наявному в лабораторії наборі із 83 мір. Відзначимо, що для мінімального зносу мір при складанні блоків, необхі-

дно прагнути, щоб він складався із найменшої кількості мір. На практиці встановлено, при наявності набору із 83-ох мір (ГОСТ 9038-90) довільний розмір можна скласти із чотирьох мір. Основні правила підбору мір полягають в тому, що в процесі підбору ліквідують останній розряд необхідного числа. Отже, підбирають в першу чергу міру, в якій розмір має тисячні долі міліметра, потім сотенні і далі, до отримання необхідного розміру, як це показано в нижче приведеному прикладі розрахунку.

<i>Приклад.</i> Необхідно скласти блок за розміром.....	28,785 мм.
Перша міра, яка входить в блок.....	1,005
Залишок.....	27,78
Друга міра, яка входить в блок .....	1,28
Залишок.....	26,5
Третя міра, яка входить в блок .....	6,5
Залишок.....	20,0
Четверта міра, яка входить в блок .....	20,0
Залишок.....	0,0

Є два винятки щодо кількості мір, з яких можна скласти довільний розмір. *Перший.* При використанні захисних мір їх розмір включається в розрахунок. В такому разі загальна кількість буде більшою, ніж чотири. *Другий.* При вимірюваннях для кріплення блоку або окремих мір використовуються вимірювальні наконечники. На разі, якщо вимірам підлягають внутрішні розміри (*охоплюючі*), то до складу вимірювального ланцюга включають товщину губок наконечників, як це провадиться при вимірах внутрішніх розмірів при використанні штангенциркулів *ШЦ-II, ШЦ-III*. Тому розмір вимірювального ланцюга дорівнюватиме розміру складеного ланцюга плюс товщина губок двох наконечників, яка гравірується на кожному зокрема.

3.2. *Складання блоку мір.* Нагадаємо деякі із правил складання, що указувалися в рубриці 2.2. Відібрані плитки протирають змоченою мастилом серветкою і приступають до складання. Послідовність при складанні мір відповідає послідовності розрахунків блоку. Спочатку притирають плитки малих розмірів. Меншу міру накладають на більшу приблизно на третину довжини робочої поверхні, щільно притискають пальцями і просувають вздовж великої вісі до повного контакту (суміщення) робочих поверхонь. Якщо після цього з допомогою легкого зусилля не вдається роз'єднати зібрані міри, то їх вважають притертими. Далі до зібраного із цих плиток блоку аналогічним чином приєднують наступні міри із зростаючими розмірами до завершення складання.

## 4. Використання кінцевих мір в техніці лінійних вимірювань

**4.1. Пряме використання.** Найпростіший приклад таких процедур – це повірка та встановлення точності інструментів чи приладів лінійних вимірювань, інструментів, які мають вивірені п'ятки чи наконечники. Наприклад, мікрометри, індикаторні скоби, установчі та вимірювальні стояки зі столиками. В такому разі якій міру безпосередньо розміщують поміж вимірювальними площинами засобу повірки і зчитують результати по шкалі приладу (інструмента). Більш складні приклади використання мір показані на рис. 2.4.

Це прямі вимірювання внутрішніх лінійних розмірів деталі.

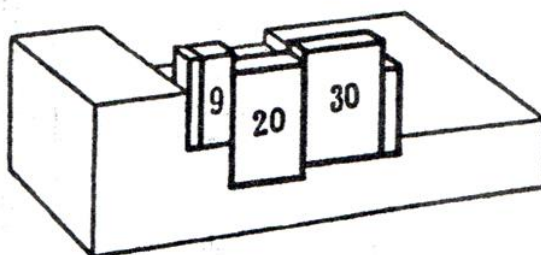


Рис. 2.4. Приклад прямого вимірювання кінцевими мірами довжини:

Використовуються міри і для градуювання штрихових мір (рис. 2.5).

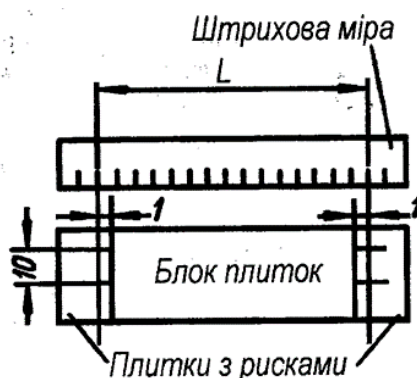
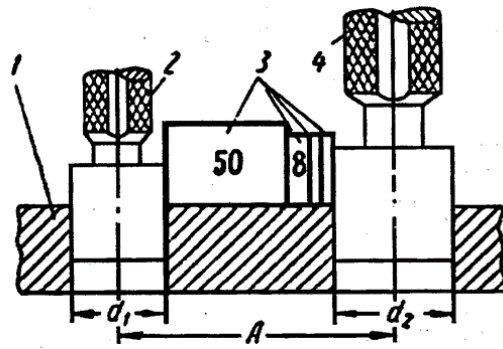


Рис. 2.5. Вивірка штрихової міри за кінцевими мірами

**4.2. Непрямі вимірювання.** Приклад непрямого вимірювання показаний на рис. 2.6. Це вимірювання віддалі між центрами отворів з використанням калібрів-пробок, діаметри яких відомі. Бачимо, в отвори вставлені пробки, а в шпарину поміж циліндричними поверхнями пробок вставлений набір мір.



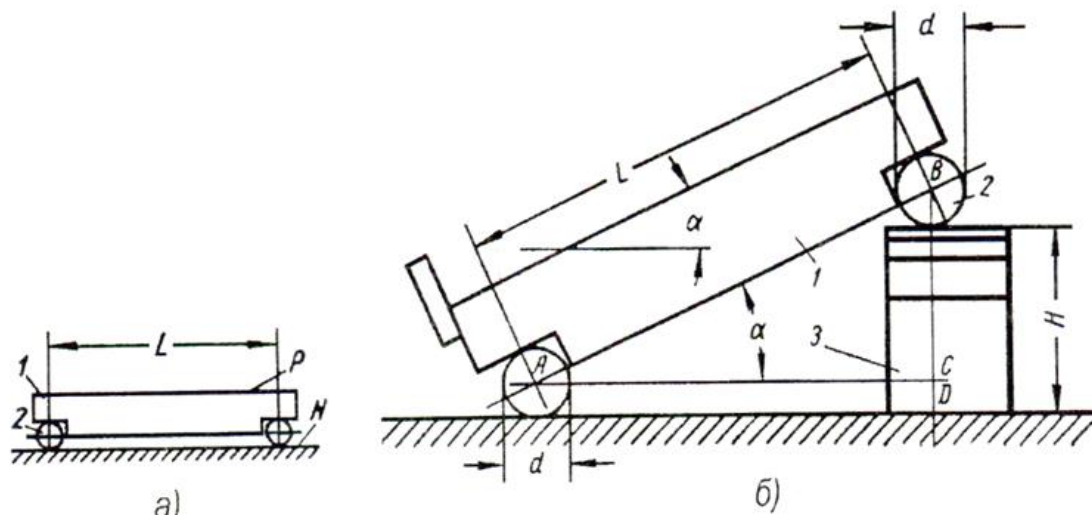
**Рис. 2.6. Вимірювання міжцентрових відстаней двох отворів:**

1 – деталь з отворами, 2, 4 – гладкі калібри-пробки, 3 – міри кінцеві, А – міжцентрова віддаль.

Остання міра (змащена мастилом) має такий розмір, який дозволяє просувати її в залишкову шпарину без поперечних погойдувань. Щільність заповнення віддалі між пробками перевіряють на “просвіт”: якщо розмістити світловий об’єкт із протилежної сторони, то різкі контури цього об’єкта не спостерігатимуться, якщо шпарина не більша 2 – 3 мкм.

Отже, віддаль між центрами:  $A = H + d_1/2 + d_2/2$ . Тут  $H$  – висота блока.

Наступний приклад непрямих вимірювань із застосуванням кінцевих мір – це відтворення кутових розмірів (рис. 2.7 б) з використанням так званої синусної лінійки, зовнішній вигляд якої приведений на рис. 2.7 а.

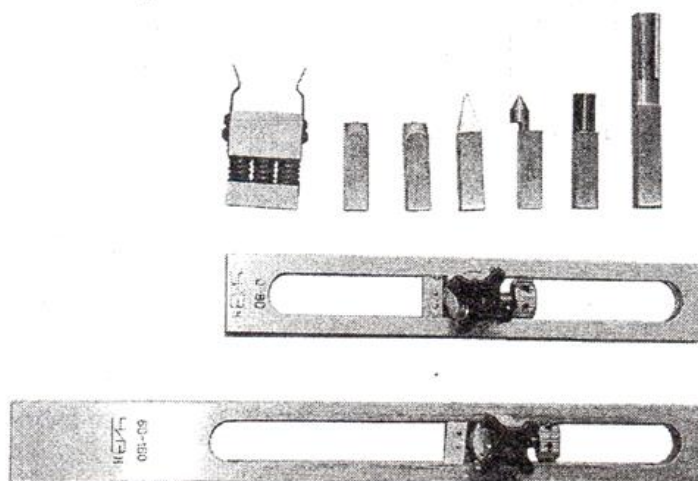


**Рис. 2.7. Відтворення кутових розмірів з використанням кінцевих мір та синусної лінійки**

За рисунком слідує, що  $\sin \alpha = (H - d/2)/L$ .

Отже, при відомих розмірах елементів синусної лінійки  $d$ ,  $L$ , які зазначені в паспорті на лінійку, можна відтворити з великою точністю довільний кут  $\alpha$  шляхом підбору висоти блоку  $H$ .

**4.3.** *Універсальні пристосування та вимірювання з використанням мір.* Для проведення вимірювань з використанням мір промисловість випускає так названі універсальні пристосування (УП), з допомогою яких здійснюється кріплення мір, що дозволяє проводити вимірювання та розмітку координат отворів та інших елементів деталей при слюсарних роботах. Комплект УП показаний на рис.2.8.



**Рис. 2.8.** Комплект універсальних пристосувань для кріплення кінцевих мір довжини

**4.4.** Провести виміри охоплюючих (внутрішніх) та охоплених (зовнішніх) розмірів деталей з точністю 0,01 мм.

4.4.1. Студент отримує в керівника заняття деталь для проведення вимірювань охоплених та охоплюючих розмірів.

4.4.2. Попередніми вимірюваннями за допомогою відповідного інструменту встановлюється наближений розмір вимірюваного елемента деталі.

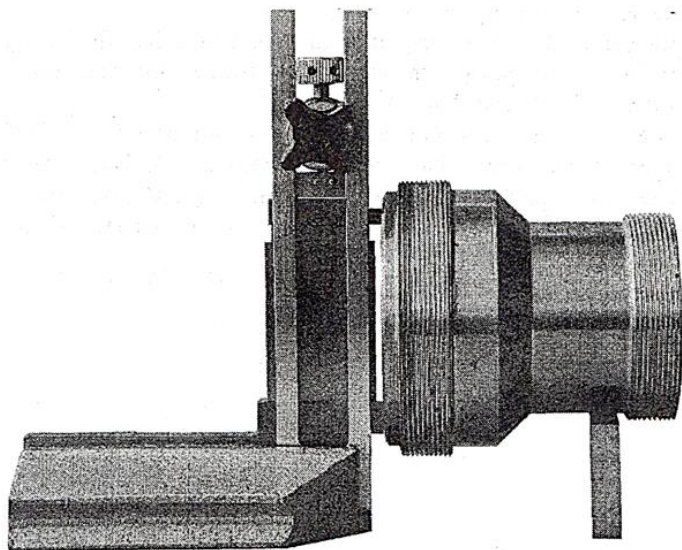
4.4.3. За встановленим розміром розраховується блок мір таким чином, аби він містив у собі змінну міру із межами зміни від 1-го до 1,5 мм, бажано в середині вказаного інтервалу. При вимірюванні охоплюючих (внутрішніх) розмірів, в розрахунок блоку включають товщини вимірювальних наконечників, значення яких гравійовані на поверхнях губок.

4.4.4. Даний блок розміщують в пристосуванні для вимірювань: вимірювальні елементи деталі повинні щільно, без похитувань (без люфту) протягуватись поміж дотичних площин (ліній) наконечників.

4.4.5. При наявності люфту або при непрохідності деталі блок мір звільнюють із пристосувань, здійснюється потрібна заміна однієї міри з градацією розмірів в одну соту міліметра. *Результатом виконання даної рубрики “Програми” є викреслений ескіз з вказівкою встановлених точних розмірів деталей; при цьому вказуються розміри мір, які входять в блок.*



4.4.6. При складанні блоку мір для внутрішніх вимірів необхідно врахувати розмір, який вигравіруваний на бокових сторонах.



Використовуючи бокові сторони для вимірювання внутрішніх розмірів, необхідно керуватись наступним: бокові сторони з товщиною губок 2 мм використовують для вимірювання отворів діаметром 4-10 мм, при товщині 5 мм для отворів діаметром 10 -20 мм; при 10 мм для отворів 20-50 мм тощо.

Приклад точного вимірювання внутрішнього діаметру показаний на рис. 2.9.

Рис.2.9. Приклад точного вимірювання діаметру

#### Протокол звіту містить:

1. Короткий конспект з теоретичної частини самостійне опрацювання)
2. Таблиця розрахунку блоку мір згідно з «Програмою».
3. Ескіз деталей (деталі) з вказівкою розмірів, встановлених вимірюванням за допомогою пристосувань; при цьому наведені розрахунки блоків, які входять у вимірювальні охоплені та охоплюючі розміри деталі.

#### Контрольні запитання

1. Будова, комплектація наборів мір, гравіювання номінальних розмірів.
2. Які розміри мір є основними?
3. Правила експлуатації мір. У чому суть явища притирання? Який вплив на розмір блока виявляє плівка мастила?
4. Призначення мір.
5. Використання мір: сфери застосування.
6. У чому суть процедур, які виконуються при атестації мір?
7. Які з основних розмірів мір підлягають атестації, а які лише контролю?
8. У чому принципова різниця атестацій за класами та за розрядами?
9. У чому суть атестації за класами?
10. У чому суть атестації за розрядами?
11. Які технічні засоби використовуються для атестацій різних рівнів?

## 3.1. Механічні прилади лінійних вимірювань

### 3.1.1. Загальні відомості

Для проведення лінійних вимірювань найбільшого поширення набули механічні прилади - це прилади, у яких функція перетворення сигналу здійснюється системою механізмів перетворення руху. Під вхідним сигналом при лінійних вимірюваннях розуміємо лінійне переміщення вхідної ланки, яку у багатьох приладах називають вимірювальним стрижнем. У переважних випадках на вимірювальний стрижень установлюється змінний вимірювальний наконечник, у торці якого запресована п'ята у вигляді сферичної кульки. Отже, незначне переміщення вимірювального стрижня перетворюється у значно більше переміщення покажчика системи візуальної реєстрації, до якої входить цифрова шкала та рухомий візир – стрілка або світлова пляма. На сьогодні розроблені прилади, у яких переміщення стрижня перетворюється в електричні величини, які автоматизують процедури зчитування.

Вимірювальні межі приладів точних вимірювань незначні, оскільки неможливо на практиці забезпечити високу точність приладу у великих межах лінійного переміщення. Тому лінійні вимірювання значних розмірів здійснюється відносним методом – методом порівняння зі зразковою мірою, в якості яких зазвичай використовують кінцеву міру довжини потрібної товщини (або їх набір) або пластину мірну (ПМ) – скляні циліндри з атестованою на лінійний розмір висотою.

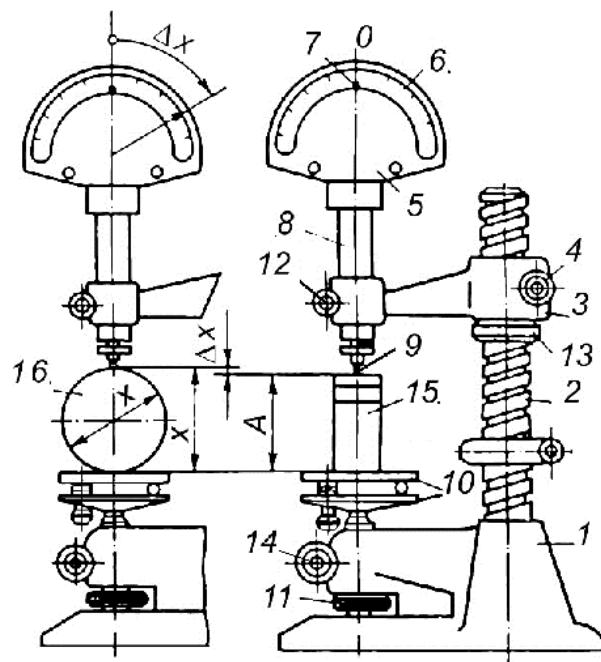
У загальному система точних лінійних вимірювань (рис.4.1) складається зі спеціального вимірювального стояка та вимірювального приладу, який часто називають вимірювальною головкою. Стояк – досить жорстка точно виготовлена механічна конструкція, має основу (базу) 1, вимірювальний столик 10 для установки деталей і мір довжини, гладку або гвинтову колонку 2 і кронштейн 3 з двома стандартизованими (система отвору) отворами. Одним отвором (Ø 50 мм) кронштейн насаджується на колонку і фіксується гвинтовим затискачем 4.

Для запобігання самовільного переміщення кронштейна з приладом униз під власною вагою при відпущеному затискачі 4 наявна опорна гайка 13, яка використовується також для вертикального переміщення кронштейна з приладом.

Другий отвір (Ø 28 мм), на протилежному кінці кронштейна, призначений для установки вимірювального приладу 7, яку жорстко фіксують затискачем 15.

Установка вимірювальної головки по висоті проводиться при відпущеному затискачі 4 обертовим рухом гайки 13 у належному напрямі. Визначення точного

розміру  $x$  деталі 16 полягає у вимірюванні відхилення  $\Delta x$  від відомого розміру  $A$  міри або зразкової деталі. Оцінку розміру  $A$  деталі (наближений) встановлюють менш точними вимірювальними інструментами – штангенциркулем або мікрометром. Надалі розмір  $A$  відтворюють набором блоку кінцевих мір. Блок мір установлюють на вимірювальний столик 10, зміщують кронштейн 3 у положення силового замикання вимірювального наконечника 9 з поверхнею блока кінцевих мір. Свідченням такого замикання буде відхід індикатора показів (стрілка або світловий «зайчик») 7 від крайнього лівого положення вправо. Далі, точним регулюванням вертикального переміщення столика (рукоятка 11) установлюють нульовий відлік за шкалою приладу (рис. 4.1 б). Обережно вивільнюють блок мір з-під наконечника і на його місце установлюють деталь 16 (рис. 4.1 а). Деталь циліндричної форми протягують по столику (не обертаючи) уздовж напрямів рифлення поверхні і фіксують максимальне відхилення стрілки. Плоску деталь круговими рухами притирають до поверхні столика з метою усунення наявних пилинок (або іншого) та можливих перекосів. Розмір деталі визначають як суму розміру блоку  $A$  та приведені до міліметра покази приладу  $\Delta x$ :  $x = A + \Delta x$ .

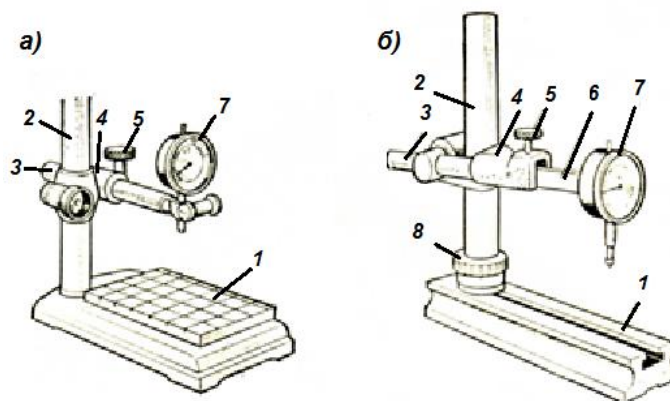


**Рис. 3.1. Принципи відносних вимірювань; інструментальна техніка точних лінійних вимірювань:**

1 – основа вимірювального стояка; 2 – гвинтова колонка; 3 – кронштейн; 4 – зажим кронштейна; 5 – вимірювальний прилад; 6 – шкала приладу; 7 – індикатор показів; 8 – гільза вимірювального приладу; 9 – вимірювальний наконечник; 10 – вимірювальний столик; 11 – гайка вертикального переміщення столика; 12 – затискач вимірювального приладу; 13 – гайка вертикального переміщення кронштейна; 14 – зажим вимірювального столика; 15 – блок (набір) мір кінцевих; 16 – вимірювана деталь

Установка вимірювальної головки по висоті проводиться при відпущеному затискачі 4 обертовим рухом гайки 13 у належному напрямі. Визначення точного розміру  $x$  деталі 16 полягає у вимірюванні відхилення  $\Delta x$  від відомого розміру  $A$  міри або зразкової деталі. Оцінку розміру  $A$  деталі (наближений) встановлюють менш точними вимірювальними інструментами – штангенциркулем або мікрометром. Надалі розмір  $A$  відтворюють набором блоку кінцевих мір. Блок мір встановлюють на вимірювальний столик 10, зміщують кронштейн 3 у положення силового замикання вимірювального наконечника 9 з поверхнею блока кінцевих мір. Свідченням такого замикання буде відхід індикатора показів (стрілка або світловий «зайчик») 7 від крайнього лівого положення вправо. Далі, точним регулюванням вертикального переміщення столика (рукоятка 11) встановлюють нульовий відлік за шкалою приладу (рис. 3.1 б). Обережно вивільнюють блок мір з-під наконечника і на його місце встановлюють деталь 16 (рис. 3.1 а). Деталь циліндричної форми протягують по столику (не обертаючи) уздовж напрямів рифлення поверхні і фіксують максимальне відхилення стрілки. Плоску деталь круговими рухами притирають до поверхні столика з метою усунення наявних пилинок (або іншого) та можливих перекосів. Розмір деталі визначають як суму розміру блоку  $A$  та приведені до міліметра покази приладу  $\Delta x$ :  $x = A + \Delta x$ .

На рис.3.2 показаний стояк з гладкою колоною  $\varnothing 28$  мм та з посадочним отвором  $\varnothing 8$  мм, який використовується для установки індикаторів годинникового типу та інших з таким же діаметром кріпильної гільзи. У таких стояках значно простіша конструкція, деякі вимірювальні столики мають лише точне регулювання у вертикальному напрямі.



**Рис. 3.2. Вимірювальні стояки для роботи з індикатором годинникового типу: а) кріплення індикатора гільзою; б) кріплення індикатора вушком:**

1 – вимірювальний столик (основа); 2 – гладка колона  $\varnothing 28$  мм; 3 – висувний стрижень; 4 – муфта (кронштейн); 5 – затискач; 6 – державка; 7 – вимірювальний прилад; 8 – гайка кріплення колони

Окрім вимірювальних стояків, вимірювальні головки, переважно механічного типу, установлюють на технологічне обладнання, верстати інше. Прилади відносних лінійних вимірювань набули великого поширення в техніці лінійних вимірювань завдяки практичному освоєнню плоскопаралельних кінцевих мір довжини та інтерференційних методів їх вимірювань.

**Вимірювальні прилади (головки).** Принципи перетворення малого переміщення вхідної ланки у значне для вихідної досить різноманітні. Це механічні, оптичні, пневматичні, п'єзоелектричні, електромагнітні тощо.

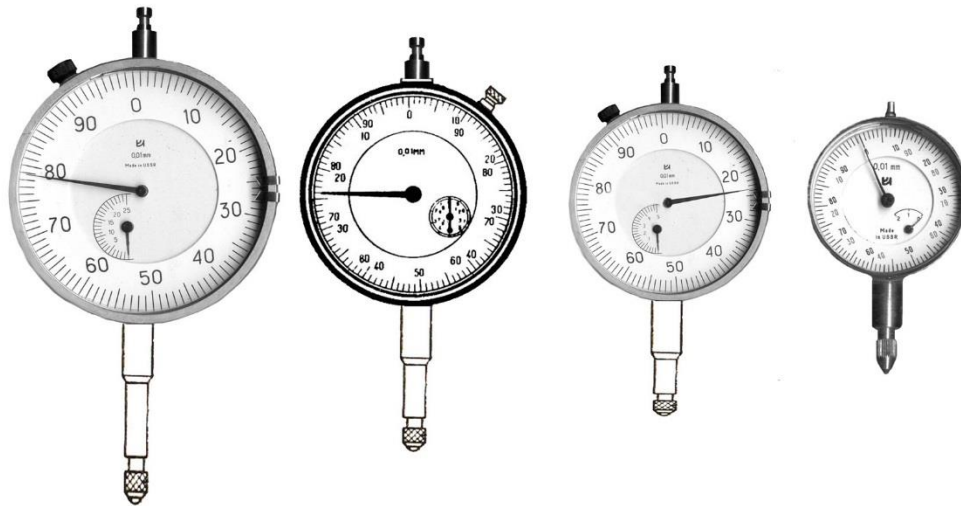
Серед механічних приладів найбільшого поширення набули такі вимірювальні головки: *індикатор годинникового типу*, ціна проділки 0,01 мм; *мінікатор та мікрокатор* з ціною проділки 0,001 (або 0,002 мм); *ортотест*, ціна проділки 0,001 мм.

З оптичних систем промисловість випускала *оптикатор* та *трубки оптиметра*, посадочна гільза якої має діаметр  $\varnothing$  28 мм і спряжений з посадочним отвором кронштейна стояка.

На разі, якщо в якості вимірювальної головки взято трубку оптиметра, то систему називають «Оптиметр вертикальний».

### 3.1.2. Індикатори годинникового типу (ІГ)

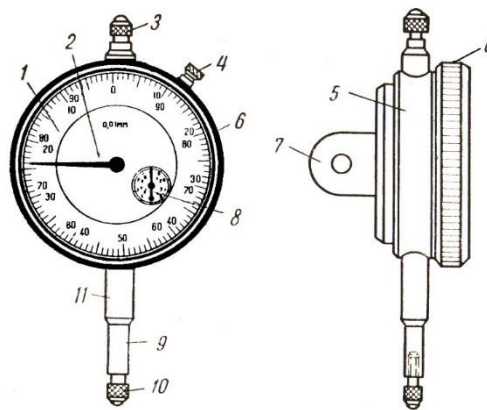
**Загальна характеристика.** *Індикатор годинникового типу* (ГОСТ 577-68) - це стрижнево-зубчатий механічний прилад з ціною проділки 0,01 мм., призначений для проведення точних лінійних вимірювань. Посадочний стрижень приладів має  $\varnothing$  8 мм; промисловість випускає спеціальні стояки з таким отвором (рис.3.2). Цими приладами обладнано також цілий ряд вимірювальних систем загального та спеціального призначення. За допомогою індикатора можна проводити як прямі, так і відносні вимірювання. Прямі - у тих випадках, коли товщина об'єкта не перевищує вимірювальних меж приладу. На разі перевищення цих меж використовують, як зазначалось, відносний метод. Розроблені та виготовляються конструкції індикаторів, які відрізняються за типорозмірами згідно меж інтервалів вимірювання, а саме: 0 – 2 мм; 0 – 5 мм; 0 – 10 мм; 0 – 25 мм. Вигляд індикаторів за типорозмірами подається на рис. 3.3.



**Рис. 3.3. Ряд типорозмірів індикаторів годинникового типу з вимірювальними межами:**

*a) {0÷25} мм; б) {0÷10} мм; в) {0÷5} мм; г) {0÷2} мм*

Зовнішня специфікація деталей окремого індикатора подана на рис. 3.4. Механізм приладу зібраний у суцільно литому корпусі 5. Закріплення здійснюється двояко. По-перше (переважно), гільзою 11 вставляється в отвір спеціального стояка і жорстко фіксується затискачем. По-друге, використовуються спеціальні штативи, а кріплення здійснюється вушком 7. Установка індикаторів у стояку та штативах показана на рисунках.



**Рис. 3.3. Зовнішній вигляд індикатора ІГ:**

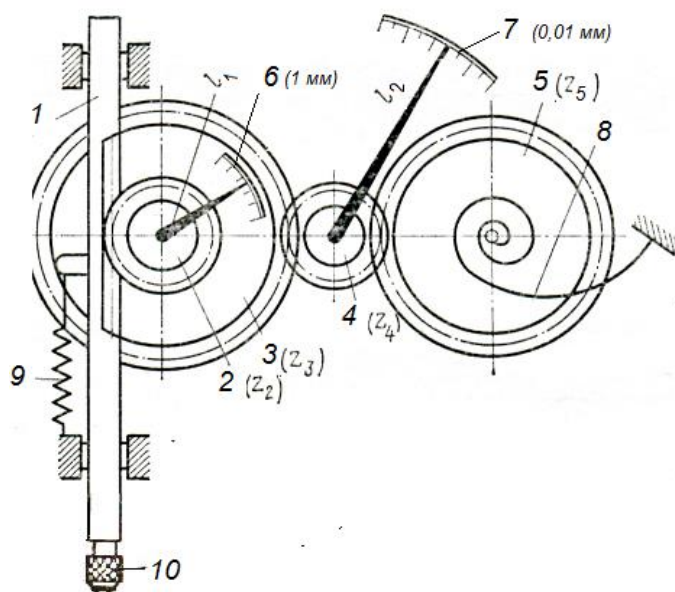
1 – циферблат (кругова шкала, 100 поділок) з ціною поділки 0,01 мм; 2 – стрілка; 3 – головка вимірювального стрижня; 4 – стопор циферблата; 5 – корпус; 6 – ободок; 7 – вушко; 8 – шкала міліметрів; 9 – вимірювальний стрижень; 10 – наконечник; 11 – гільза

До вимірювальної системи приладу віднесемо вимірювальний стрижень 9 з наконечником 10 та дві відлікові системи – кругова рухома шкала 1 у формі циферблату, яка розбита на 100 поділок з ціною 0,01 мм, та міліметрова шкала 8, кількість поділок якої залежить від типорозміру індикатора, тобто 2, 5, 10 та 25 поділок (міліметрів), що визначає вимірювальні межі окремого типорозміру

приладу. Отже, повне обертання великої стрілки 10 відповідає переміщенню вимірювального стрижня на 1 мм. Для відліку числа цілих міліметрів наявна шкала 8, ціна поділки якої дорівнює 1 мм.

Переміщення рухомої шкали 1 здійснюється ободком 6. Це переміщення забезпечує установку кругової шкали на нуль у довільному положенні вимірювального стрижня та прямі зчитування результатів замірів. При робочому русі вимірювального стрижня уверх велика стрілка обертається за годинниковою стрілкою; при цьому робоча частина стрижня укорочується, відлік здійснюється за шкалою, нанесеною чорною фарбою. При налаштуванні індикатора на нульові покази так, що робочий рух стрижня здійснюється униз, відлік проводиться за червоною шкалою. Вимірювальне зусилля на індикатор не перевищує 0,8 Н у початковому положенні стрижня (стрижень унизу) та 2 Н при кінцевому, верхньому положенні стрижня.

**Кінематична схема механізму показана на рис. 3.5.** Вхідною ланкою є вимірювальний стрижень 1, який має лінійну напрямну і здійснює поздовжнє переміщення в опорах 3.



**Рис. 3.5. Кінематична схем механізму індикатора годинникового:**

*Тип ІЧ – вимірювальний стрижень переміщується паралельно до шкали:*

1 – вимірювальний стрижень з нарізаною зубчатою рейкою; 2 – зубчате колесо  $z_2 = 16$ ; 3 – зубчате колесо  $z_3 = 100$ ; 4 – зубчате колесо  $z_4 = 10$ ; 5 – зубчате колесо  $z_5 = 100$ ; 6 – шкала міліметрів; 7 – шкала 0,01 мм; 8 – антилюфтова волосінь; 9 – пружина нормованого вимірювального зусилля та зворотного ходу стрижня; 10 – вимірювальний наконечник

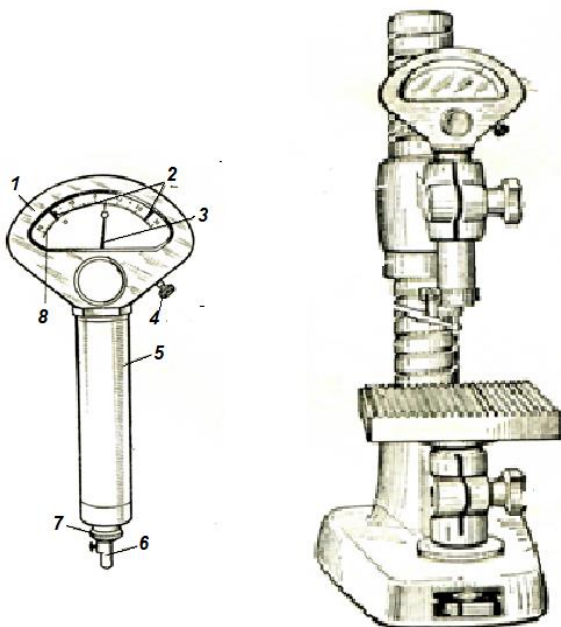
Вихідне положення стрижня, при якому покази приладу нульові, нижнє. Його самовільний вихід у це положення забезпечується спіральною пружиною 9, яка працює на розтяг. У центральній зоні поверхні стрижня нарізана зубчата



рейка. Дана рейка зчіплюється з зубчатим колесом  $z_1$ , на осі якого нерухомо закріплена стрілка шкали міліметрів. Колесо  $z_1$  нерухомо з'єднано з колесом  $z_2$ , яке зчеплене з колесом  $z_3$ ; до нього нерухомо приєднана сотенна стрілка шкали циферблата. Колесо  $z_4$  зчеплене з колесом  $z_3$ , виконує пасивну функцію. З ним скріплена спіральна пружина 4 - пружинна волосінь, яка створює момент протидії руху вимірювального стрижня уверх, від начального положення, а також і обертання зубчатих коліс, що забезпечує односторонній контакт зубців у зчепленнях і у такий спосіб компенсується мертвий хід коліс (люфт зубчатих зчеплень).

### 3.1.3. Мікрокатор

Мікрокатор, зовнішній вигляд якого показаний на рис. 3.6, відноситься до класу приладів з пружинним перетворювачем лінійного руху в обертовий. Внаслідок відсутності механічних передач ці прилади володіють простою конструкцією, висока точність, стабільність та надійність показів забезпечується відсутністю кінематичних пар, а отже, і відсутністю як мертвих ходів, так і тертя та зносу. Застосування плоских пружин та мембран замість класичних механічних передач забезпечує їх надійну роботу в умовах запиленості, підвищеної вологості та вібрацій.



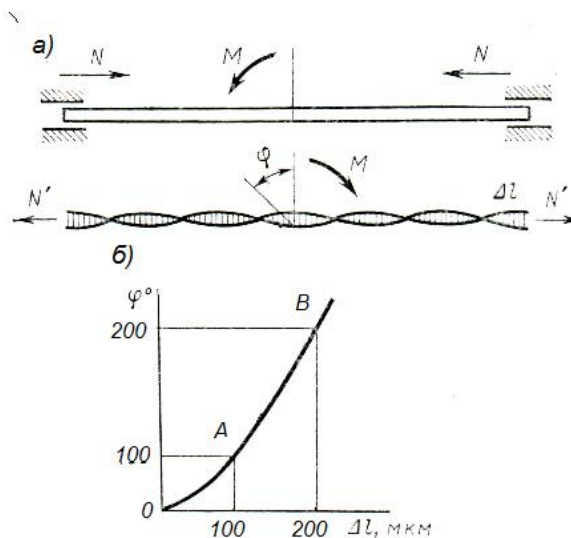
*Рис. 3.6. Зовнішній вигляд мікрокатора:*  
 1 – корпус; 2 – показчики меж допусків; 3 – стрілка; 4 – гвинт тонкого настроювання;  
 5 – гільза; 6 – вимірювальний наконечник; 7 – фіксатор; 8 - шкала

В пружинних передачах для перетворення незначних переміщень вимірювального наконечника у значно більші переміщення візуального показчика (стрілки) використовуються плоскі, прями, зігнуті або закручені пружні металіч-



ні стрічки. У мікрокаторах пружинні стрічки виготовляють з берилієвої бронзи, товщина яких складає  $0,003 \dots 0,007$  мм, а ширина знаходиться в межах  $0,13 \dots 0,3$  мм.

Принципи перетворення показані на рис. 3.7.



**Рис. 3.7. Принцип використання пружних стрічок для перетворення лінійних переміщень:**

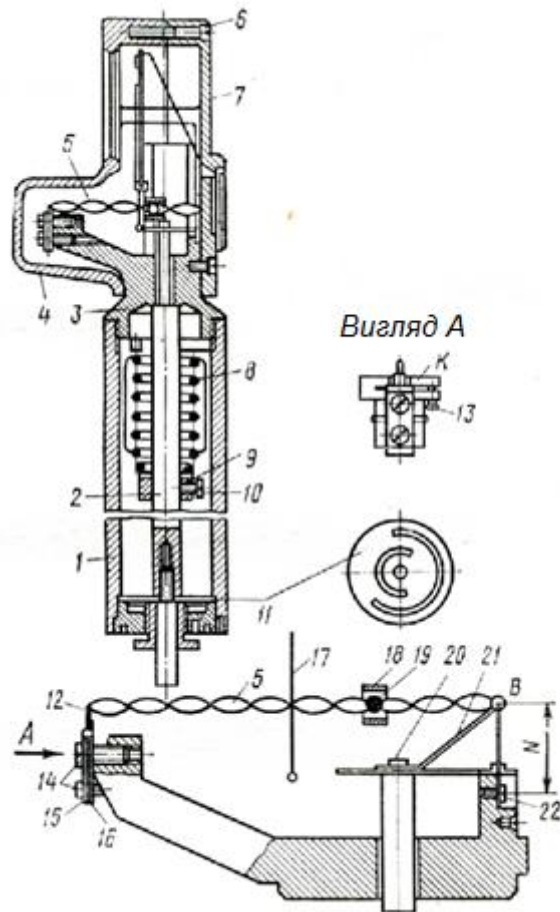
- а) закручування плоскої стрічки із зацземленими кінцями;
- б) залежність кута закручування від поздовжнього видовження

Якщо плоску стрічку з берилієвої бронзи розміром  $0,005 \times 0,12$  мм закручувати від її середини за напрямом стрілки  $M$ , то вона буде скорчуватись за напрямком  $N-N$  (рис. 3.7, а). Отже, якщо попередньо закручену таким чином стрічку розтягувати в напрямі стрілок  $N'-N'$ , то вона почне розкручуватись. Причому, найбільше розкручування буде у середньому перетині. Залежність кута розкручування  $\varphi$  середнього перетину від розтягу  $\Delta l$  в межах  $100 \dots 200$   $\mu\text{к}$ , практично прямолінійна (рис.4.7, б), що дозволяє виконати шкалу приладу лінійною.

Базовими елементами приладу (рис. 3.8) є хромована сталена гільза 1 з зовнішнім  $\varnothing 28$  мм та литий каркас 3; гільзою прилад устанавлюється у інструментальних стояках. Вимірювальний стрижень 2 нижнім кінцем кріпиться до пружної мембрани 11, фронтальний вигляд якої показаний справа. Механізм перетворення закритий передньою кришкою 4 з склом для спостереження шкали та стрілки та задньою кришкою 7, які взаємно закріплені гвинтами 6. Пристрій, який складається з гвинтової пружини 8, хомутика 9, закріпленого на вимірювальному стрижні гвинтом 10, слугує для створення вимірювального зусилля

1,8...2,5 Н. Це зусилля можна регулювати у широких межах перестановкою хомутика 9 вздовж вимірювального стрижня.

Розглянемо механізм перетворення вимірювального переміщення стрижня 2 з наконечником 2'. Закручена пружна стрічка 5 одним кінцем закріплена на пружній пластині 12, а другим – на пружному трикутнику 21 в точці В.



**Рис. 3.8. Головний перетин мікроамперометра та конструкція пружинного перетворювача**

Пружна пластинка 12 поміж планками 15 та 16 закріплена до кронштейна корпусу двома гвинтами 14. Гвинти 14 та гвинт 13 (вигляд А, рис 3.7) розташовані так, що при знятих покриттях 4 та 7 забезпечена можливість регулювати натяг закрученої стрічки 5. Пружний трикутник 21 гвинтом 20 приєднаний до верхнього кінця вимірювального стрижня 2 та гвинтом 22 до каркасу 3. Лінійне переміщення вимірювального стрижня 2 перетворюється пружним трикутником у розтяг стрічки 5, що викликає її закручування, а, отже, кутове переміщення стрілки 17 відносно шкали приладу, що забезпечує відлік показів. Для заспоко-

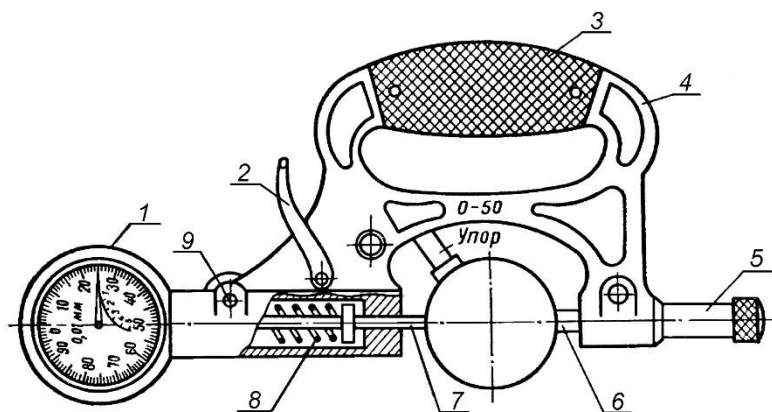
ення стрілки застосований масляний демпфер, виконаний у вигляді втулки 18, через яку пропущення стрічка 5 з наплавленою на неї кулькою 19. Мастило, що знаходиться у втулці, гальмує рух кульки при розкручуванні чи закручуванні стрічки, що забезпечує швидке заспокоювання стрілки.

Істотним недоліком мікрокатора є застосування для відліку дуже тонкої, ледве помітної стрілки, що при тривалому застосуванні стомлює зір оператора. Окрім цього, розміщення стрілки на досить значній відстані від площини шкали збільшує похибку паралаксу. Ці недоліки відсутні у приладі з аналогічним попередньому чутливим елементом, але система зчитування результатів здійснюється за допомогою світлової плями («зайчика»).

Такий прилад названий «*оптикатор*», який буде розглянуто дещо нижче.

### 3.2. Скоба індикаторна

Як вимірювальний прилад (рис.3.9), у скобі використовується індикатор годинникового типу ІЧ. Процедури вимірювань такі. Скобу закріплюють у спеціальному стояку (або утримують рукою), перевіряють наявність силового замикання (відсутність мертвого ходу) вимірювального стрижня 7 та вимірювального наконечника ІЧ. Далі здійснюється настройка скоби по блоку плоско паралельних кінцевих мір з розміром, близьким до розміру вимірювальної деталі.



**Рис.3.9. Скоба індикаторна:**

1 - індикатор годинникового типу; 2 – важіль відводу вимірювального стрижня; 3 – рифлені накладки з пластмаси; 4 – держак; 5 – захисний ковпачок; 6 – пересувна (установочна) п'ятка; 7 - вимірювальний стрижень скоби; 8 – пружина силового замикання вимірювального стрижня; 9 – затискач індикатора

Для цього відкручують захисний ковпачок 5 пересувної п'ятки 6 і переміщують її до тих пір, поки не буде спостерігатись переміщення стрілок ІЧ, тобто відбудеться силове замикання вимірювальної ланки „пересувна п'ята - блок мір – рухомий стрижень скоби - вимірювальний стрижень ІЧ”.

Свідченням силового замикання буде переміщення великої стрілки (сотен-

ної) індикатора (ІЧ) від початкового положення, причому мала стрілка (міліметрова) при можливості встановлюють в межах показів від двох до трьох міліметрів, так як саме в цьому вимірювальному інтервалі нормується вимірювальна точність ІЧ. Для зручності зняття відліків повертають зовнішній ободок ІЧ (з насічкою) таким чином, щоб велика стрілка співпадала з нулем шкали, причому нульовий показ необхідно повторно перевіряти при знятті та повторній установці блоку мір. Указані процедури здійснюють за допомогою важеля відводу вимірювального стрижня, а покази індикатора зчитують після легкого постукування пальцем руки по верхньому наконечнику вимірювального стрижня індикатора.

### 3.3. Оптичні прилади точних лінійних вимірювань

**Передслово.** Точні вимірювання здійснюються за принципом порівняння вимірювального розміру з еталонною мірою. Прилади лінійних вимірювань можна поділити на дві великі групи.

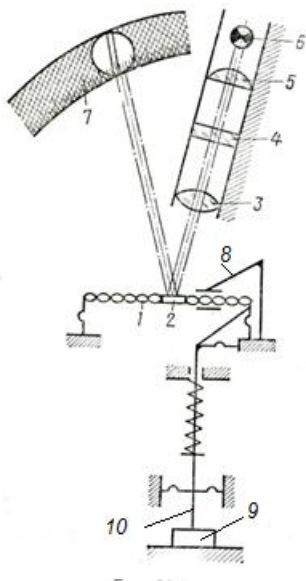
Прилади першої групи (оптиметри, пружинно-оптичні головки (оптикатори), контактні інтерферометри, інше) призначені для визначення малих відхилень вимірюваного розміру від розміру *міри* кінцевої або еталонної деталі.

Прилади другої групи (компаратори, вимірювачі довжини, вимірювальні машини, універсальні мікроскопи, гоніометри, інше) проводять безпосередні вимірювання розмірів об'єктів шляхом їх порівняння з еталонними штриховими мірами, які є елементами конструкції відповідних приладів.

#### 2.3.1. Оптикатор

Оптикатор – це прилад точних лінійних вимірювань (рис.3.10), у якому, як і в мікрокаторі, використаний принцип чутливої закрученої стрічки, але вказані вище недоліки мікрокатора відсутні. На відміну від попереднього, посередині закрученої стрічки *1* замість стрілки закріплене дзеркальце *2*, яке відбиває сфокусоване зображення бісектора сітки *4* в площину шкали *7* приладу, нанесеної по дузі. Штрихові мітки бісектора освітлюються через конденсор лампою *6* та проєктується об'єктивом *3* на дзеркало *2*, яке знаходиться у його фокусі. Застосування дзеркала замість стрілки дозволяє у два рази збільшити чутливість приладу, так як відбитий від дзеркала промінь відхиляється на подвійний кут при тому ж куті розкручування середнього перетину пружної стрічки.

Очевидно, в такому разі зменшується в два рази ціна поділки шкали приладу. Окрім цього, при відліку показів відсутні похибки паралаксу, так як зображення штриха знаходиться в площині шкали приладу.



**Рис. 3.10. Принципова оптико-механічна схема оптикатора:**

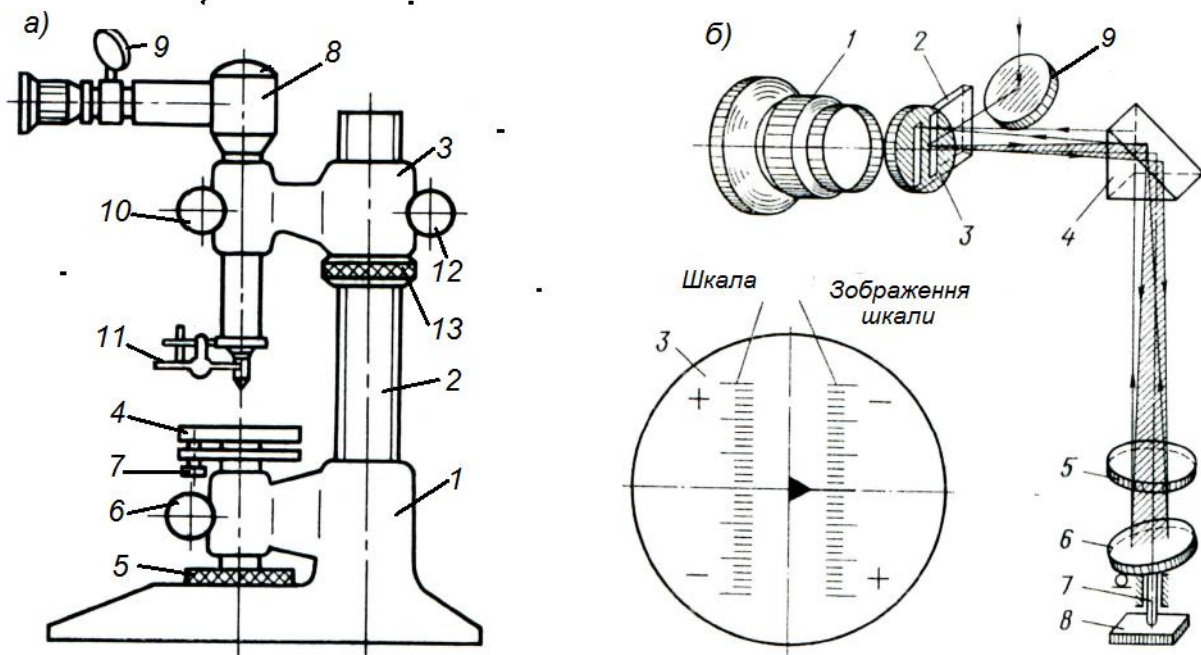
1 – перетворювач (закручена пружна стрічка); 2 – дзеркальце; 3 – об’єктив; 4 – сітка-бісектор; 5 – конденсор; 6 – джерело світла; 7 – шкала; 8 – демпфер; 9 – вимірювальний об’єкт; 10 – вимірювальний наконечник

### 2.3.2. Оптиметр

Оптиметри – це клас оптико-механічних приладів з важільно-оптичним чутливим перетворювачем. В залежності від способу зчитування результату вимірів можна спостерігати в окуляр або ж проектуватись на екран. В залежності від розташування лінії вимірювання оптиметри поділяються на вертикальні та горизонтальні; їхні трубки – «серце» оптиметрів; взаємозамінні, мають універсальну конструкцію. Зовнішній вигляд оптиметра *вертикального* ОВО-1, або ИКВ, показаний на рис. 3.11 *а*, а трубка оптиметра - на рис.3.11 *б*.

Головним у оптиметрі є його трубка, тобто вимірювальна система, принцип дії якої побудований на поєднанні оптичного та механічного важелів. Фактично, оптична система являє собою автоколімаційну зорову трубку за схемою Аббе, відповідно до якої ті ж самі оптичні елементи задіяні як у формуванні прямих променів, так і обернених при спостереженні.

На рис. 3.11, *б* показана принципова оптична схема трубки оптиметра. Денне світло або світло від лампочки направляється шарнірно закріпленим дзеркалом на спеціальну пластину-призму, яка підсвічує ту частину скляної пластини 3, на яку нанесена шкала з проділками та цифрами. Фронтальний вигляд шкали та її зображення показаний зліва на рисунку. Шкала розташована у фокальній площині об’єктиву 5, тому автоколімаційне зображення шкали розміщується в тій же площині, але зміщене на ту ж відстань, на якій зміщена шкала, як це бачимо з рисунку. Лінія візиту нанесена у вигляді чорного трикутника нанесена справа від вертикальної діаметральної лінії так що бісектриса трикутника



**Рис. 3.11. Оптиметр вертикальний ІКВ (сх.а) та його трубка ( сх.б):**

**схема а:** 1 – основа; 2 – колона; 3 – кронштейн; 4 – вимірювальний столик; 5 – гайка переміщення столика; 6 – зажим столика; 7 – гвинти установки горизонту столика; 8 – трубка оптиметра; 9 – дзеркало підсвічування шкали; 10 – зажим трубки; 11 – важіль переміщення вимірювального наконечника; 12 – зажим кронштейна; 13 – гайка переміщення кронштейна;

**схема б:** 1 – окуляр; 2 – плоско-прямокутна призма підсвічування шкали; 3 – сітка з нанесеною шкалою; 4 – поворотна призма; 5 – об’єктив; 6 – поворотне дзеркало (чутливий елемент); 7 – вимірювальний стрижень; 8 – об’єкт вимірювання; 9 – дзеркало підсвічування шкали

суміщена з горизонтальною діаметральною лінією. При кутовому зміщенні дзеркала б під дією вимірювального стрижня 7 зображення шкали переміщується паралельно вертикальній діаметральній лінії. Отже, поворот дзеркала б викликає лінійне переміщення шкали, яке спостерігається в окуляр 1 і зчитується за нерухомим індексом.

Максимальна розрахункова похибка трубки оптиметра складає  $\pm 0,04$  мкм, що в 25 разів менше ціни проділки приладу.



**Рис. 4.12. Повне зображення шкали та зчитування показів:**  
вимірювальні межі  $\pm 0,1$  мм; ціна проділки 0,001 мм; відлік +0,007 мм

Повне зображення шкали, що спостерігається в окуляр, показане на рис.4.12; зміщене від нуля положення шкали дає результат вимірювання + 0,007 мм.

## Лабораторна робота № 3

### Вивчення конструкцій, правил експлуатації приладів точних лінійних вимірювань та допоміжної техніки

#### Мета роботи:

набуття навичок роботи з інструментальною технікою лінійних вимірювань

#### Завдання до роботи

1. Вивчити будову конструкцій інструментальних стояків
  - 1.1.Виготовити ескіз зображення великого стояка (№1), навести специфікацію складових частин, описати застосування;
  - 1.2.Виготовити ескіз зображення малого стояка (№2), навести специфікацію складових частин, описати застосування.
2. Встановити почергово вимірювальні прилади, оволодіти технікою використання та зняття результатів показів.
3. Провести вимірювання запропонованих деталей; при необхідності використовувати відносний метод з використанням Мір довжини кінцевих:
  - 3.1. Випробування Індикаторів годинникового типу; освоїти техніку прямих вимірювань в межах наявного вимірювального інтервалу;
  - 3.2. Мікрокатор, мінікатор випробовують методом відносних вимірювань;
  - 3.3. Опанувати методику зняття відліків трубки оптиметра вертикального. Тестування вимірювань провести на *пластинах мірних*.
4. Освоїти техніку використання Скоби індикаторної,. В якості деталей вимірювання брати Пластини мірні, запропонованих керівником заняття. Обрахувати відносну та абсолютну похибки.
5. Провести обробку результатів вимірювань для знаходження відносної та абсолютної похибки відповідно до наведеної Методики обробки результатів.
6. За істинне приймають значення, отримане вимірюванням приладом, точність зняття відліків яким на порядок перевищує точність випробовуваного приладу. При використанні Пластин мірних (ПМ) істинним є розмір, указаний гравіруванням на полірованій лисці циліндричної поверхні пластини.

## Увага!

При роботі з приладами проявляти максимальну ретельність та виваженість рухів з метою уникнення їх пошкоджень.

### Особливу увагу приділяти роботі з трубкою оптиметра

#### Обладнання, пристосування, матеріали

*Обладнання.* Інструментальні стояки великі (2-х конструкцій); інструментальні стояки малі (2-х конструкцій); мінікатор; мікрокатор; індикатори годинникового типу; скоба індикаторна; оптиметр вертикальний.

*Допоміжні вироби.* Штангенциркуль, мікрометр, Пластини мірні різних розмірів, деталі для вимірювань.

*Матеріали.* Протиральний матеріал (батист, інше), нежирювальна речовина (бензин Б-70 або «Галоша», мастило рідке (Індустріальне, трансформаторне)).

#### Контрольні запитання

1. Досконало вивчити технічні назви складових частин конструкцій стояків та приладів.
2. Пояснити принцип експлуатації кожного стояка, указаних у завданні до роботи.
3. Пояснити принцип дії та правила експлуатації кожного з приладів, які використовуються в роботі..
4. Чи можна називати механіку перетворення лінійного переміщення вимірювального стрижня *мікрокатора та оптикатора* в обертовий рух стрілки кінематичною схемою?
5. У яких випадках кожним із приладів можна проводити абсолютні вимірювання, а у яких відносні?
6. Що потрібно мати для проведення відносних вимірювань?



### Похибки вимірювань

*Абсолютна похибка.* Для обчислень вказаної необхідне знання істинного значення величини, що підлягає вимірам. Істинним для даних вимірів може виступати результат, отриманий з використанням вимірювальних засобів, які забезпечують точність, що на порядок вища, аніж даний вимірювальний засіб. Так, при використанні штангенциркуля для вимірювання лінійного розміру, істинним може виступати значення, отримане вимірюванням з використанням мікрометра.

Розрахунки *абсолютної похибки* проводять за формулою:

$$\delta A = A_{icm} - \bar{A} \quad (1)$$

*Відносна похибка.* Розрахунок проводять за формулою:

$$\delta = \frac{A_{icm} - \bar{A}}{A_{icm}} 100\% . \quad (2)$$

У формулах (1), (2)  $A_{icm}$  – істинне (атестоване) значення розміру,  $\bar{A}$  – встановлене значення розміру у вимірюваннях як середньоарифметичне.

*Статистична оцінка похибки.* На завершення акцентуємо, що без наявності зовнішніх даних про розмірний параметр об'єкта досліджень, тобто зовнішньої атестації, постановка питання про абсолютну та відносну похибку при звичайних вимірюваннях недоречна, так як невідомим є істинне значення розміру, що входить у наведені формули. Доцільно вести мову про *статистичну оцінку похибки* ( $\Delta$ ). За ГОСТ 8. 011, результат вимірів записується як сукупність середньо арифметичного значення окремих вимірів  $\bar{A}$ , меж довіри вимірам  $\Delta(\bar{A})$  та достовірна імовірність  $P$ , тобто:

$$A = \bar{A} \pm \Delta; P. \quad (3)$$

Тут  $\bar{A} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 A_i$  - середньо арифметичне значення;  $\Delta$  – інтервал (межі) довіри,  $P$  - імовірність довіри; у технічних розрахунках, якщо це не обумовлено спеціально, імовірність довіри приймають 95%.

Межі довіри  $\Delta$  розраховують за формулою:  $\Delta = t_p(n) \cdot S$ .

Тут  $t_p(n)$  - коефіцієнт Стюдента (табличне значення),  $S(A)$  - дисперсія результатів вимірювання,  $S(A) = \sqrt{S^2(A)}$ ; середньо квадратичне значення  $S^2(A)$  ви-

значається за формулою:  $S^2(A) = \frac{1}{5(5-1)} \sum_{i=1}^5 (A_i - \bar{A})^2$ .

## Список літератури

1. Берков В.И. Технические измерения. – М.: Высш. шк., 1983. 144 с.
2. Боженко Л.І. Метрологія, стандартизація, сертифікація, акредитація. – Львів: Афіша, 2004. 324 с.
3. Зябрева Н.Н., Шегол М.Я. Лабораторные занятия по курсу «Основы взаимозаменяемости и технические измерения». – М.: Высшая школа, 1975. 352 с.
4. Зайцев С.А. Контрольно-вимірювальні прилади і інструменти: Підручник / С.А. Зайцев, Д.Д. Грибанов, А.Н. Толстов, Р.В. Меркулов. Видавничий центр: Академія, 2002. 464 с
5. Машиностроение. Терминология: Справочное пособие. Вып. 2. – М.: Изд.-тво стандартов, 1989. 432 с.
6. Основы конструювання в приладобудуванні. Ч.1. Технічні вимірювання: Методичні вказівки до лабораторного практикуму/ Укл. Житарюк В.Г., Цалий В.З. – Чернівці: Рута, 2007. 32 с.
7. Тищенко В.И. Измерительные приборы в машиностроении. – М.: ГНТИ, 1960. 312.с.
8. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. – М.: 1986. 340 с.

## Використані стандарти

1. Закон України “ Про метрологію та метрологічну діяльність”
2. ДСТУ ГОСТ 166:2009. Штангенциркули. Технические условия.
3. ДСТУ ГОСТ 164:2009. Штангенрейсмасы. Технические условия.
4. ДСТУ ГОСТ 162:2009. Штангенглубиномеры. Технические условия.
5. ДСТУ ГОСТ 6507:2009. Микрометры. Технические условия.
6. ДСТУ 9038:2009. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. – М.: ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 1990. 15 С.
7. ТУ 3-3.2123-88. Пластины стеклянные для интерференционных измерений типа ПМ.
8. ГОСТ 8.050-73. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений.

*Навчальне видання*  
**Техніка лінійних вимірювань: метрологія та поліграфія**  
*Навчальний посібник до лабораторного практикуму*

Укладачі  
**Ушенко Олександр Григорович**  
**Житарюк Віктор Григорович**  
**Іванський Дмитро Ігорович**

Літературний редактор **Лукул О.В.**

*Свідоцтво про державну реєстрацію*  
Підписано до друку                      Ум. друк. арк.  
Друкарня видавництва “Рута” Чернівецького національного університету  
58012, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2