МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ВИМІРЮВАННЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ В АВІОНІЦІ
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Системи керування літальними апаратами та комплексами»
спеціальності 173 Авіоніка

Укладач М.Г. Черняк

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент *Бондаренко О.М.*, канд. техн. наук, доцент, в. о. завідувача кафедри авіа- та ракетобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Пономаренко С.О.*, канд. техн. наук, доцент

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 5 від 26.05.2022 р.)
за поданням Вченої ради навчально-наукового інституту аерокосмічних технологій
(протокол № 4/22 від 21.04.2022 р.)

Навчальний посібник містить усі необхідні здобувачу вищої освіти відомості щодо підготовки до виконання, виконання та захисту лабораторних робіт з нормативного освітнього компоненту «Вимірювання та стандартизація в авіоніці» для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Системи керування літальними апаратами і комплексами» за спеціальністю 173 Авіоніка.

Лабораторні роботи спрямовано на набуття здобувачами вищої освіти практичних здатностей з планування та організації вимірювань, застосовування сучасних методів та засобів вимірювань механічних величин при вирішенні різноманітних вимірювальних задач в авіоніці, обробки експериментальних результатів вимірювань, визначення похибок результату вимірювання; забезпечення заданої точності результату вимірюваннь в умовах вирішення вимірювальної задачі шляхом виконання групових вимірювань та алгоритмічної компенсації систематичних похибок засобу вимірювання.

Ці практичні здатності, передбачені освітньою програмою «Системи керування літальними апаратами та комплексами» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Реєстр. № НП 21/22-421. Обсяг 3,8 авт. Арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
https://kpi.ua
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© М.Г. Черняк
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

С.

Вступ……..…..…… 4

1 Загальний порядок виконання лабораторних робіт …….……..... 5

2 Заходи безпеки під час виконання лабораторних робіт ……..……... 6

3 Лабораторна робота №1. Вимірювання розмірів приладобудівних деталей штангенінструментами. Математична обробка результатів прямих та непрямих (косвених) вимірювань ……..…...…….……..……..... 7

4 Лабораторна робота №2. Вимірювання високоточних розмірів чутливих елементів датчиків механічних величин мікрометричним інструментом. Математична обробка результатів прямих та непрямих (косвених) вимірювань …….……...…... 30

5 Лабораторна робота №3. Повірка робочого засобу вимірювань методом безпосереднього звірення зі зразковим засобом вимірювань, усунення систематичної похибки вимірювань. Усунення систематичної похибки засобу вимірювань, зменшення випадкової похибки засобу вимірювань 49

6 Лабораторна робота №4. Повірка робочого засобу механічних вимірювань методом прямих вимірювань зразкових мір. Усунення систематичної похибки засобу вимірювань, зменшення випадкової похибки засобу вимірювань …….. 69

Список рекомендованої літератури …….……..…….. 84

Додатки ...……..……...…….… 86

Додаток А. Таблиці звіту з виконання лабораторної роботи №_……... 86

Додаток Б. Таблиці нормованих коефіцієнтів для виконання розрахунків з обробки експериментальних результатів вимірювань …….....…… 87

ВСТУП

Силабусом нормативного освітнього компоненту (ОК) "Вимірювання та стандартизація в авіоніці" спеціальності 173 «Авіоніка» передбачено виконання циклу лабораторних робіт з виконання вимірювань різноманітних механічних величин та повірки їх засобів вимірювань.

За результатами виконання цих лабораторних робіт на реальному лабораторному обладнанні студенти отримають передбачені освітньою програмою «Системи керування літальними апаратами та комплексами» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти практичні здатності з: планування та організації вимірювань; застосовування сучасних методів та засобів вимірювань (ЗВ) механічних величин при вирішенні різноманітних вимірювальних задач в авіоніці; обробки експериментальних результатів вимірювань (РВ); визначення похибок РВ; забезпечення заданої точності РВ в умовах вирішення вимірювальної задачі шляхом виконання групових вимірювань та алгоритмічної компенсації систематичних похибок ЗВ.

Навчальний посібник містить усі необхідні студенту відомості щодо підготовки до виконання, виконання та захисту лабораторних робіт.

1 ЗАГАЛЬНИЙ ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Кожну лабораторну роботу студенти виконують особисто в наступній послідовності.

1. Попередньо кожний студент самостійно готується до виконання лабораторної роботи. В процесі підготовки необхідно чітко знати, що треба дослідити, як і на якому обладнанні проводити дослідження та вимірювання, які експериментальні результати мають бути отримані, за допомогою яких математичних формул мають бути оброблені експериментальні результати, які висновки по проведеним дослідженням мають бути зроблені.

До виконання кожної лабораторної роботи кожний студент готує проект звіту (протоколу) з виконання цієї лабораторної роботи. Звіт оформлюється на аркушах формату А4. Приклад оформлення титульного аркушу звіту наведено в додатку В, зміст звіту до кожної лабораторної роботи наведено у відповідному пункті вказівок до виконання цієї лабораторної роботи.

2. Перед виконанням кожної лабораторної роботи викладач перевіряє: наявність та правильність оформлення проекту звіту з виконання цієї лабораторної роботи; ступінь готовності кожного студента шляхом опитування або розв’язання студентами тестового контрольного завдання. За умови наявності проекту звіту та позитивної оцінки знань студент допускається до виконання лабораторної роботи.

3. Студенти індивідуально виконують завдання на лабораторну роботу в учбовій лабораторії.

4. Кожний студент самостійно оформлює власний звіт з виконання лабораторної роботи, робить необхідні розрахунки, висновки та захищає звіт перед викладачем за графіком викладача.

2 ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Студенти перед виконанням циклу лабораторних робіт проходять інструктаж з техніки безпеки та ознайомлюються з інструкцією з техніки безпеки в лабораторії, дотримання вимог якої є необхідним протягом виконання усіх лабораторних робіт.

Необхідно пам’ятати, що напруга змінного стуму 220В є небезпечною для життя.

При виконанні усіх лабораторних робіт з механічних вимірювань категорично забороняється:

- виконувати без дозволу викладача усі види вимірювальних робіт на лабораторному обладнанні;
- здійснювати різкі рухи руками з вимірювальним інструментом або з об'єктом вимірювань;
- наближати гострі кромки та поверхні вимірювальних інструментів та об'єкту вимірювань до органів зору людини, яка здійснює вимірювання (або іншої людини), на відстань менше 30 сантиметрів.

Людина, яка здійснює механічні вимірювання зобов'язана:

- міцно тримати в руках засіб вимірювань та об'єкт вимірювань відповідно до правил застосування конкретного ЗВ;
- виконувати всі вимірювальні роботи тільки над поверхнею лабораторного столу;
- суворо дотримуватися вказаної в порядку виконання кожної лабораторної роботи послідовності виконання вимірювань.

У випадку виникнення небезпечної ситуації при виконанні лабораторної роботи необхідно припинити виконання всіх робіт і оповістити про це викладача.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1
ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ПРИЛАДОБУДІВНИХ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНІНСТРУМЕНТАМИ. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ПРЯМИХ ТА НЕПРЯМИХ (КОСВЕНИХ) ВИМІРЮВАНЬ

3.1 Мета лабораторної роботи

1.1 Вивчити принцип дії, конструкції і метрологічні характеристики сучасних штангенінструментів.

1.2 Вивчити правила виконання вимірювань штангенінструментами і методику обробки результатів вимірювань.

1.3 Виконати вимірювання розмірів приладобудівних деталей штангенциркулем і обробити результати вимірювань. Порівняти результати вимірювань з розмірами, нанесеними на робочі креслення деталей.

3.2 Основні теоретичні відомості

До групи штангенінструментів належать вимірювальні інструменти, основою яких є лінійка-штанга (на ній нанесена основна штрихова шкала з інтервалом розподілу 1 мм) і відліковий пристрій (додаткова штрихова шкала) - ноніус.

У групу штангенінструментів загального призначення входять штангенциркулі, штангенглибиноміри і штангенрейсмуси [1, 2, 3].

3.2.1 Штангенциркуль ШЦ-1-150-0,1 [1, 2]

Штангенциркуль ШЦ-1-150-0,1 призначений для зовнішніх і внутрішніх вимірювань, розмітки і для вимірювань глибини до 150 мм.

Технічні характеристики ШЦ-1:

– діапазон вимірювань, мм від 0 до 150 (250);

– величина відліку по ноніусу, мм 0,1;

– межа похибки, що допускається, мм ±0,1;

– клас точності 2;

– маса, кг 0,135.

Конструкція штангенциркуля ШЦ-1 показана на рис. 3.1.

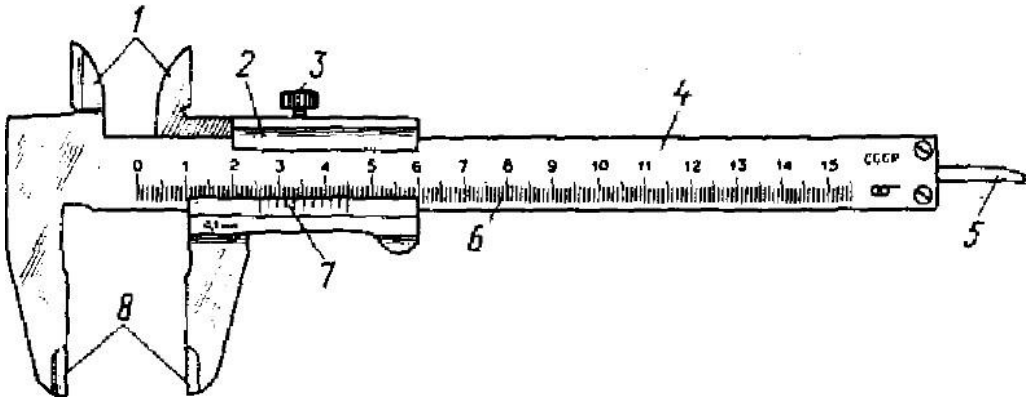


Рисунок 3.1 - Штангенциркуль ШЦ-1: 1 - губки для внутрішніх вимірювань, 2 - рамка, 3 - затиск рамки,4 - штанга, 5 - лінійка глибиноміра, 6 - шкала штанги,7 - ноніус, 8 - губки для зовнішніх вимірювань

Ноніус штангенциркуля довжиною 19 мм розділений на 10 частин. Одна поділка ноніуса складає 19:10 = 1,9 мм, що на 0,1 мм менше цілого числа міліметрів (рис. 3.2) [1, 2].

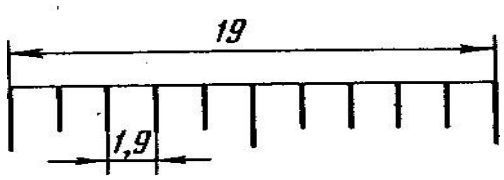


Рисунок 3.2

При нульовому показанні (коли збігаються штрихи штанги і ноніуса) штрихи ноніуса знаходяться від найближчого праворуч штриха штанги на відстані

$$l_n = \Delta_1 \cdot n \quad , \text{мм} , \qquad (3.1)$$

де: $\Delta_1 = 0{,}1 мм$ - величина відліку по ноніусу; n - порядковий номер штриха ноніуса, не рахуючи нульового (рис. 3.3).

Таким чином, при переміщенні рамки до збігу n-го штриха ноніуса зі штрихом штанги розмір між губками штангенциркуля (дробова величина) буде дорівнювати $l_n = 0,1 \cdot n$ мм.

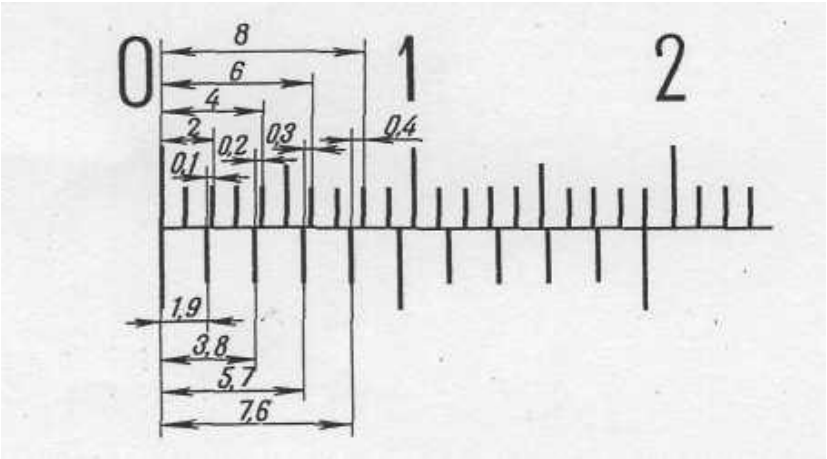


Рисунок 3.3 - Шкала штангенциркуля ШЦ-1

Зчитування результатів вимірювань зі шкали штангенциркуля ШЦ-1 з величиною відліку $\Delta_1 = 0,1 мм$ здійснюється наступним чином. Ціле число міліметрів відраховується по шкалі штанги зліва направо нульовим штрихом ноніуса. Дробова величина (кількість десятих часток міліметра) визначається за формулою (3.1) множенням величини відліку $\Delta_1 = 0,1 мм$ на порядковий номер штриха ноніуса n (не враховуючи нульового), що збігається зі штрихом штанги.

Приклади відліку РВ зі шкали штангенциркуля ШЦ-1 наведені на рис. 3.4.

Відповідно до рис. 3.4 результати одиничних вимірювань штангенциркулем ШЦ-1 записуються наступним способом

$$L_1 = 39,7 \pm 0,1 мм \quad , \; L_2 = 61,4 \pm 0,1 мм \quad .$$

Для перевірки нульового положення шкали штангенциркуля необхідно щільно звести губки між собою. При відсутності просвіту між губками для зовнішніх вимірювань (чи невеликому просвіті до 0,0015 мм) повинні збігатися нульові штрихи ноніуса і штанги.

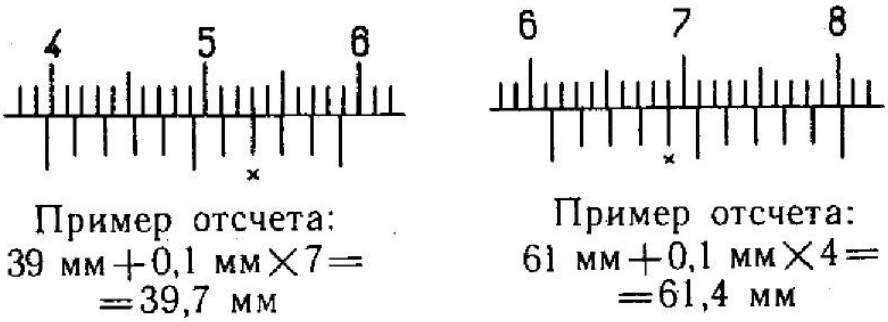


Рисунок 3.4 - Приклади відліку РВ зі шкали штангенциркуля ШЦ-1

3.2.2 Штангенциркуль ШЦ-2-160-0,05 [1, 2]

Штангенциркуль ШЦ-2-160-0,05 призначений для зовнішніх і внутрішніх вимірювань і розмітки розмірів до 160 мм.

Технічні характеристики ШЦ-2:

– діапазон вимірювань, мм від 0 до 160 (250);

– величина відліку по ноніусу, мм 0,05;

– межа похибки, що допускається, мм ±0,05;

– клас точності 2.

Конструкція штангенциркуля ШЦ-2 показана на рис. 3.5.

Мікрометричну подачу в штангенциркулі ШЦ-2 застосовують для точної установки рамки відносно штанги. Овальні отвори в ноніусі (рис. 3.6) дозволяють переміщати його на невелику величину уздовж рамки, що дозволяє настроїти нульове положення штангенциркуля.

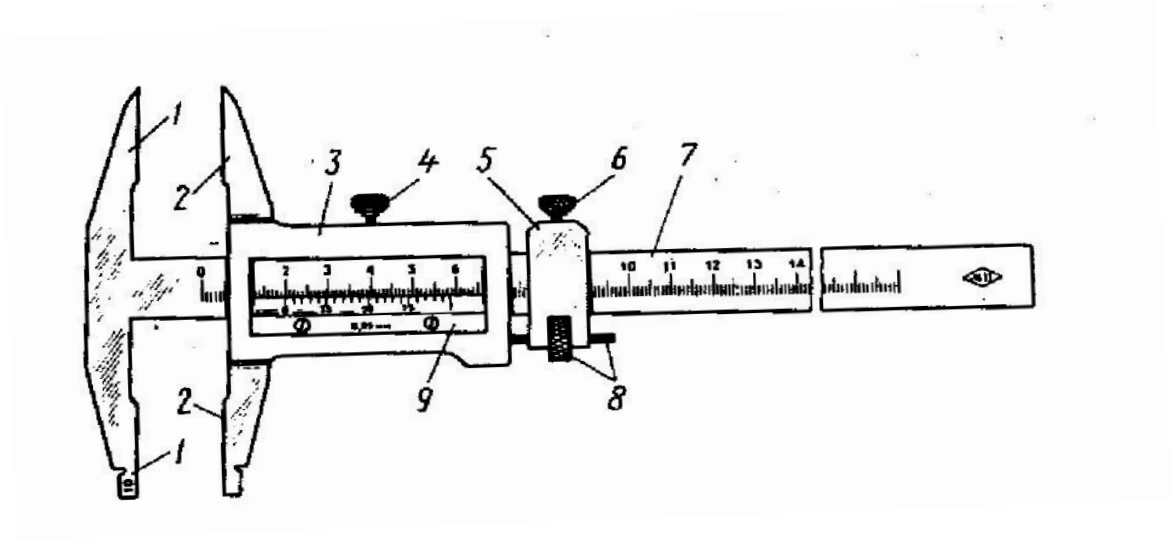


Рисунок 3.5 - Штангенциркуль ШЦ-2: 1 - нерухомі вимірювальні губки; 2 – рухомі вимірювальні губки; 3 - рамка; 4 - затиск рамки; 5 – рамка мікрометричної подачі; 6 - затиск рамки мікрометричної подачі; 7 - штанга; 8 - гайка і гвинт мікрометричної подачі рамки; 9 - ноніус.

Рисунок 3.6

Ноніус штангенциркуля, довжина якого дорівнює 39 мм, розділений на 20 частин. Одна поділка ноніуса складає 39:20=1,95 мм, що на 0,05 мм менше цілого числа міліметрів (рис. 3.7) [1, 2].

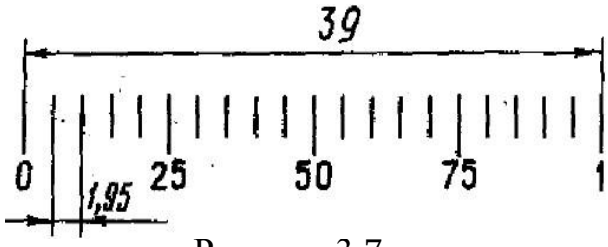


Рисунок 3.7

При нульовому показанні (коли збігаються нульові штрихи штанги й ноніуса) штрих ноніуса знаходиться від найближчого праворуч штриха штанги на відстані

$$l_n = \Delta_2 \cdot n \quad \text{, мм ,} \tag{3.2}$$

де: $\Delta_2 = 0,05\,мм$ - величина відліку по ноніусу; n - порядковий номер штриха ноніуса, не рахуючи нульового (рис. 3.8).

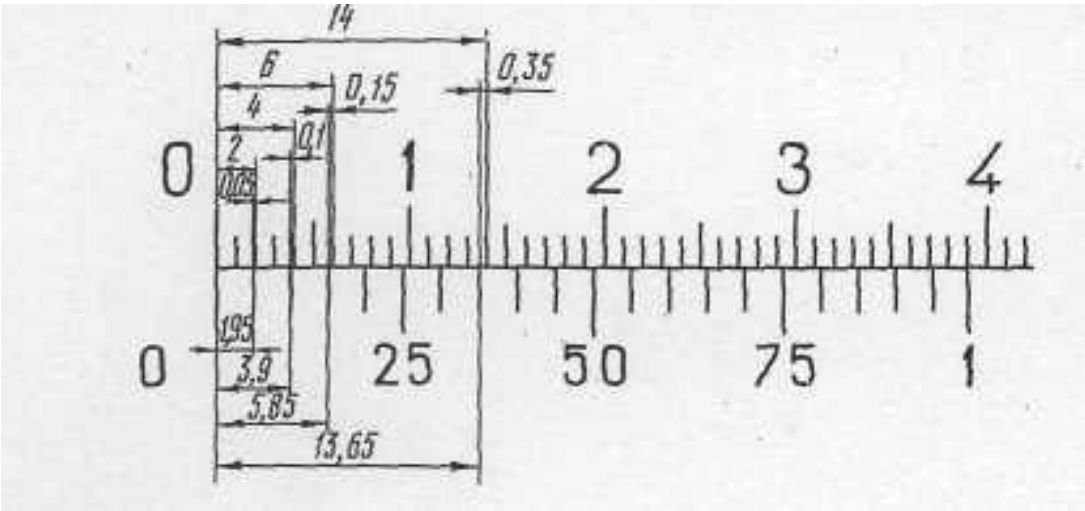


Рисунок 3.8 - Шкала штангенциркуля ШЦ-2

Таким чином, при переміщенні рамки до збігу n-го штриха ноніуса зі штрихом штанги розмір між губками штангенциркуля (дробова величина) буде дорівнювати $l_n = 0,05 \cdot n$ мм.

Для прискорення відліку використовують цифри ноніуса 25, 50, 75, що позначають соті частки міліметра.

Зчитування результатів вимірювань зі шкали штангенциркуля ШЦ-2 з величиною відліку $\Delta_2 = 0,05\,мм$ здійснюється наступним чином. Ціле число міліметрів відраховується зліва направо по шкалі штанги нульовим штрихом ноніуса. Потім знаходиться штрих ноніуса, що збігається зі штрихом штанги. Після цього до найближчої ліворуч цифрі ноніуса (25 чи 50, чи 75), що позначає соті частки міліметра, додають результат множення величини відліку $\Delta_2 = 0,05\,мм$ на порядковий номер короткого штриха ноніуса, що співпадає зі штрихом штанги, рахуючи його від знайденого довгого оцифрованого штриха.

Приклади відліку РВ зі шкали штангенциркуля ШЦ-2 наведені на рис. 3.9. Відповідно до рис. 3.9 результати одиничних вимірювань штангенциркулем ШЦ-1 записуються наступним способом:

$$L_1 = 12{,}15 \pm 0{,}05\,мм \quad ; \; L_2 = 71{,}85 \pm 0{,}05\,мм \quad .$$

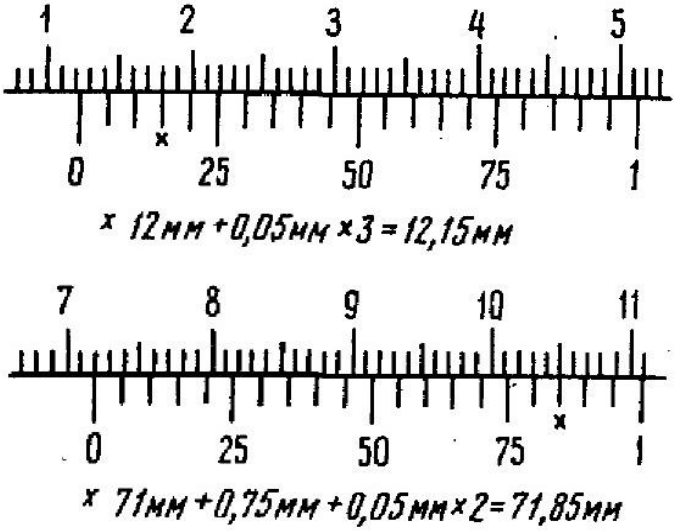


Рисунок 3.9 - Приклади відліку РВ зі шкали штангенциркуля ШЦ-2

При внутрішніх вимірюваннях до показань додається товщина губок, що зазначена на них (рис. 3.10).

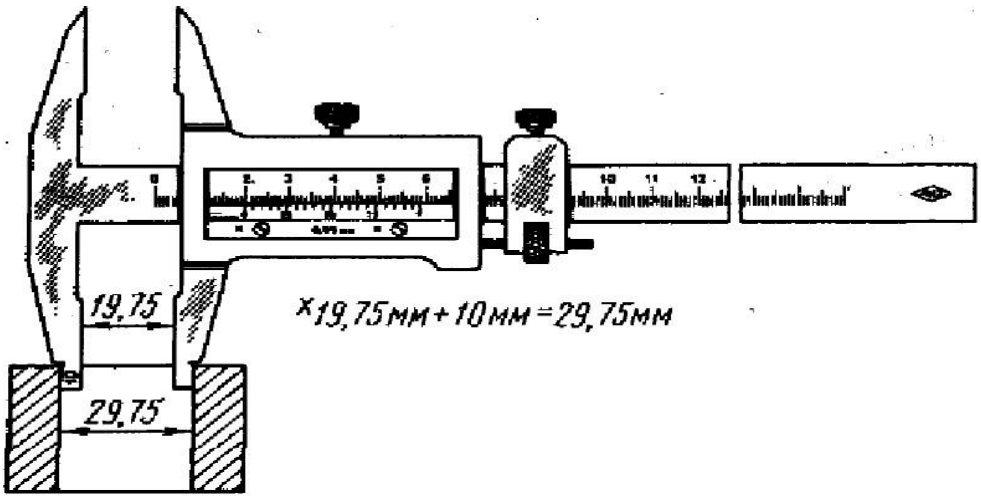


Рисунок 3. 10 - Приклад відліку РВ при внутрішніх вимірюваннях

Штангенциркуль ШЦ-2 не має глибиноміра, тому що метод вимірювання глибини, що використовується у штангенциркулях, не забезпечує необхідної для ШЦ-2 точності вимірювань.

3.2.3 Штангенциркулі закордонних виробників

На даний час в Україні з'явилася велика кількість різних моделей штангенциркулів закордонного виробництва. На рис. 3.11 показані три моделі штангенциркулів компанії JOBI [4]:

– на рис.11.а - штангенциркуль зі звичайним ноніусом, величина відліку якого складає $\Delta_3 = 0,02\,мм$;

– на рис.11.б - штангенциркуль з циферблатним відліковим пристроєм, величина відліку якого складає $\Delta_3 = 0,02\,мм$;

– на рис.11.в - штангенциркуль з електронним відліковим пристроєм, величина відліку якого складає $\Delta_4 = 0,01\,мм$.

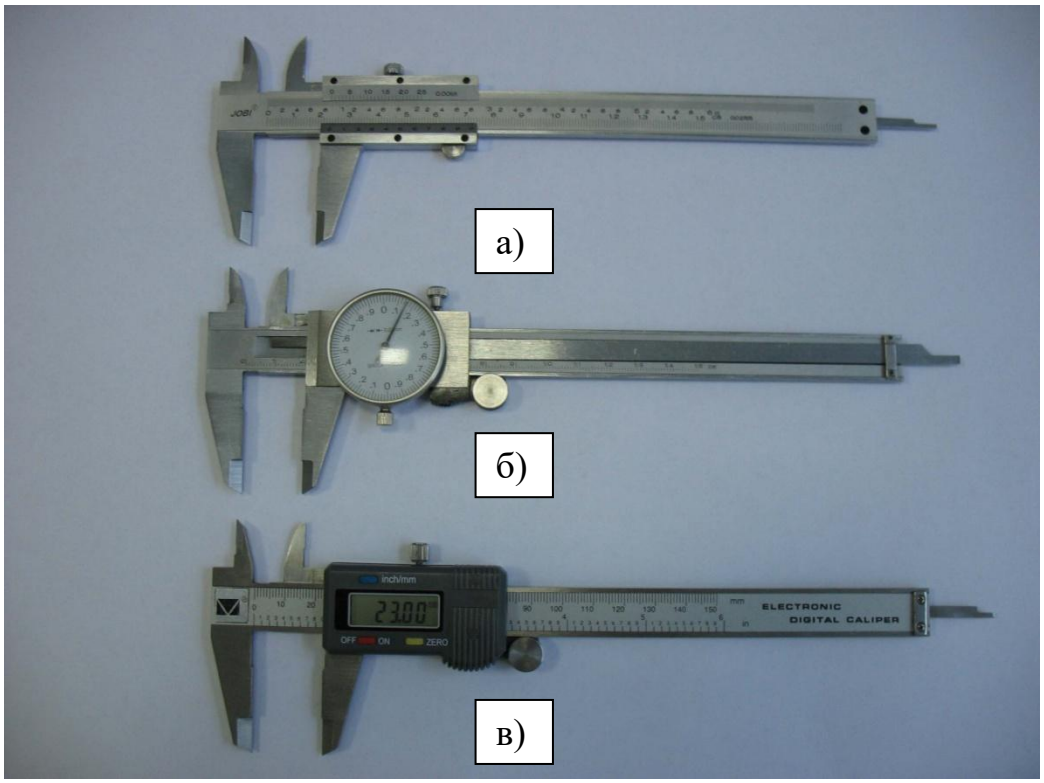


Рисунок 3.11 - Штангенциркулі закордонних виробників

На ці штангенциркулі також поширюється дія стандарту [1] і, як правило, вони мають сертифікат метрологічних служб України.

На рис. 3.12 показані приклади зчитування РВ зі шкали штангенциркуля зі звичайним ноніусом і величиною відліку $\Delta_З = 0,02\,мм$ (рис. 3.11.а).

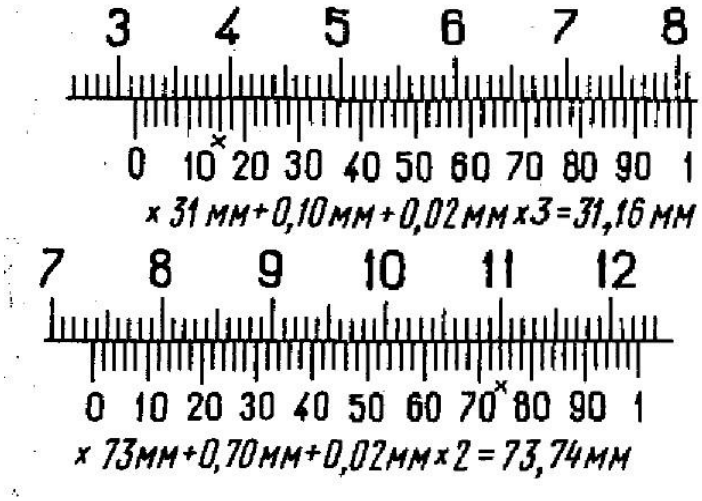


Рисунок 3.12 - Приклади відліку РВ зі шкали штангенциркуля з величиною відліку $\Delta_З = 0,02\,мм$.

3.3 Лабораторне устаткування і прийоми виконання вимірювань

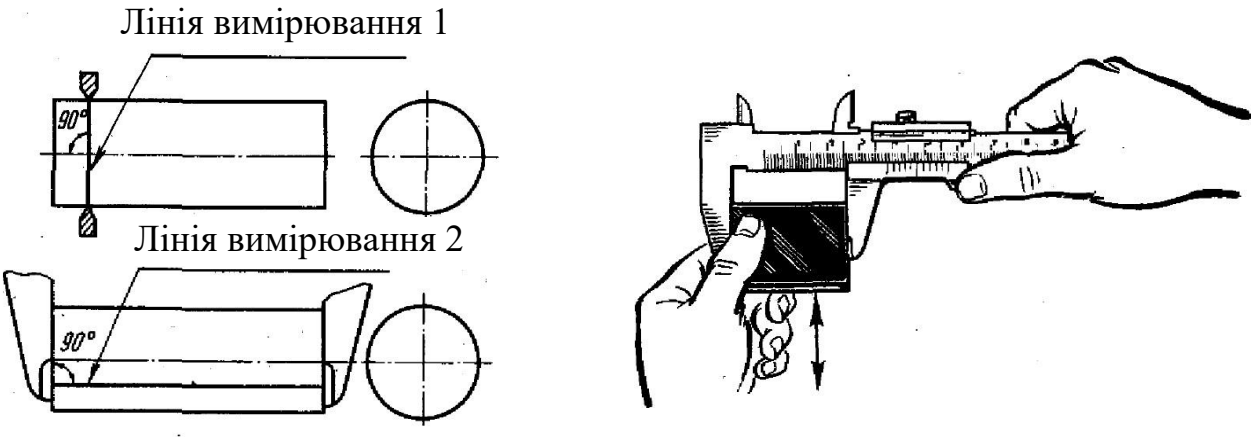
Всі вказані в п. 3.3 лабораторної роботи вимірювання проводяться за допомогою штангенциркулів ШЦ-1 (компании МІКРОТЕХ (Україна) [2] і ШЦ-2 (компанії JOBI) [4].

3.3.1 Прийоми виконання вимірювань штангенциркулем [1, 2, 3, 4]

3.3.1.1 При підготовці до роботи перевірити плавність ходу рамки і нульову установку шкал штанги і ноніуса.

Під час роботи не допускати: грубих ударів і падінь штангенциркуля, щоб уникнути вигину штанги й інших поверхонь; подряпин на вимірювальних поверхнях.

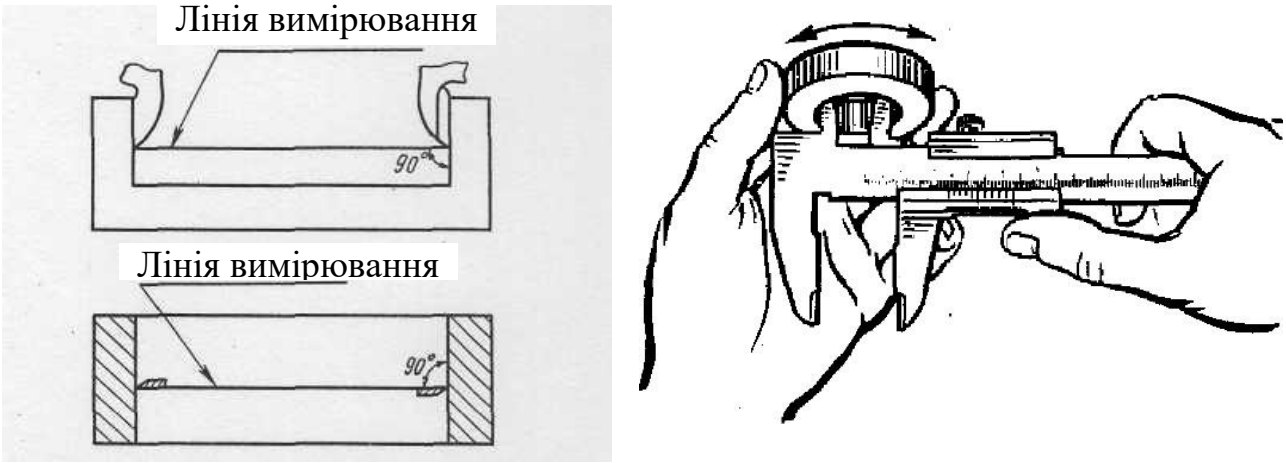
3.3.1.2 Основні прийоми вимірювання розмірів зовнішніх поверхонь показано на рис. 3.13.



а) б)

Рисунок 3.13 - Вимірювання розмірів зовнішніх поверхонь

3.3.1.3 Основні прийоми вимірювання розмірів внутрішніх поверхонь показано на рис. 3.14.



а) б)

Рисунок 3.14 - Вимірювання розмірів внутрішніх поверхонь

3.3.1.4 Положення штангенциркуля при вимірюванні глибини отворів показано на рис. 3.15.

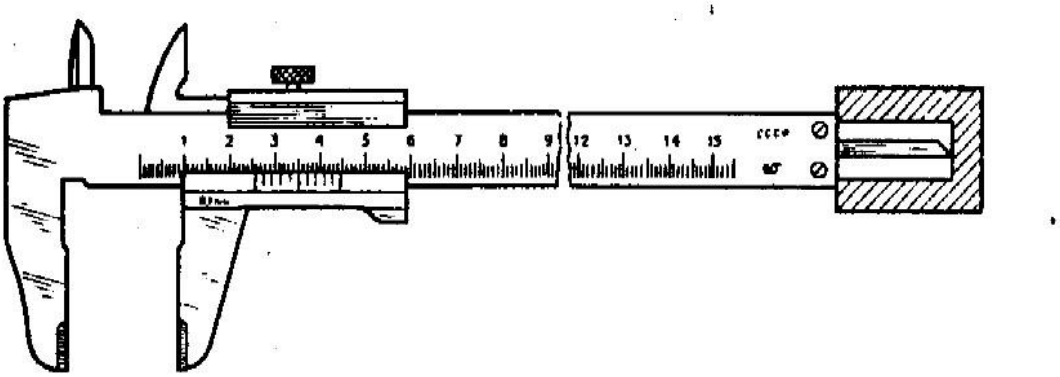


Рисунок 3.15 - Вимірювання глибини отворів

3.3.1.5 Положення рук оператора при вимірюваннях штангенциркулем показано на рис. 3.16.

3.3.1.6 При зчитуванні РВ, штангенциркуль необхідно тримати прямо перед очима як показано на рис. 3.17.

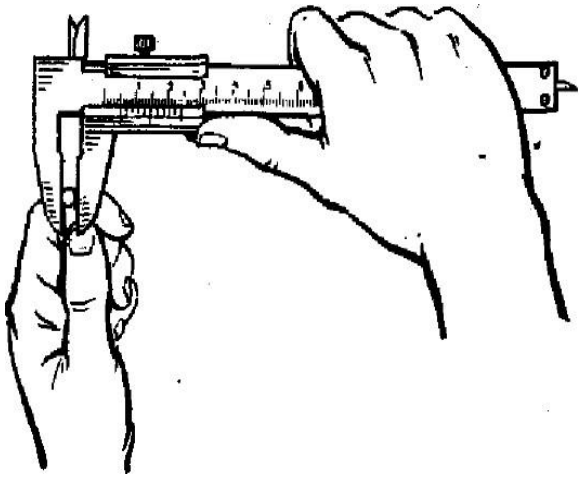


Рисунок 3.16

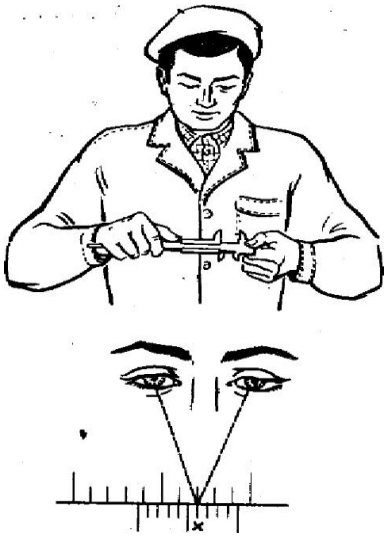


Рисунок 3.17

3.3.1.7 Забороняється вимірювати деталь, закріплену в патроні під час роботи верстата.

3.3.1.8 Періодична повірка штангенциркуля здійснюється відповідно до [1, 5].

3.3.2 Опис деталей, розміри яких вимірюються

3.3.2.1 Деталь №1 - корпус акселерометра.

Робоче креслення деталі показане на рис. 3.18. Розміри, які необхідно виміряти, позначені на кресленні буквами.

Результати одиничних вимірювань X_i , $(i = \overline{1,5})$ цих розмірів повинні бути записані в таблицю 3.1.

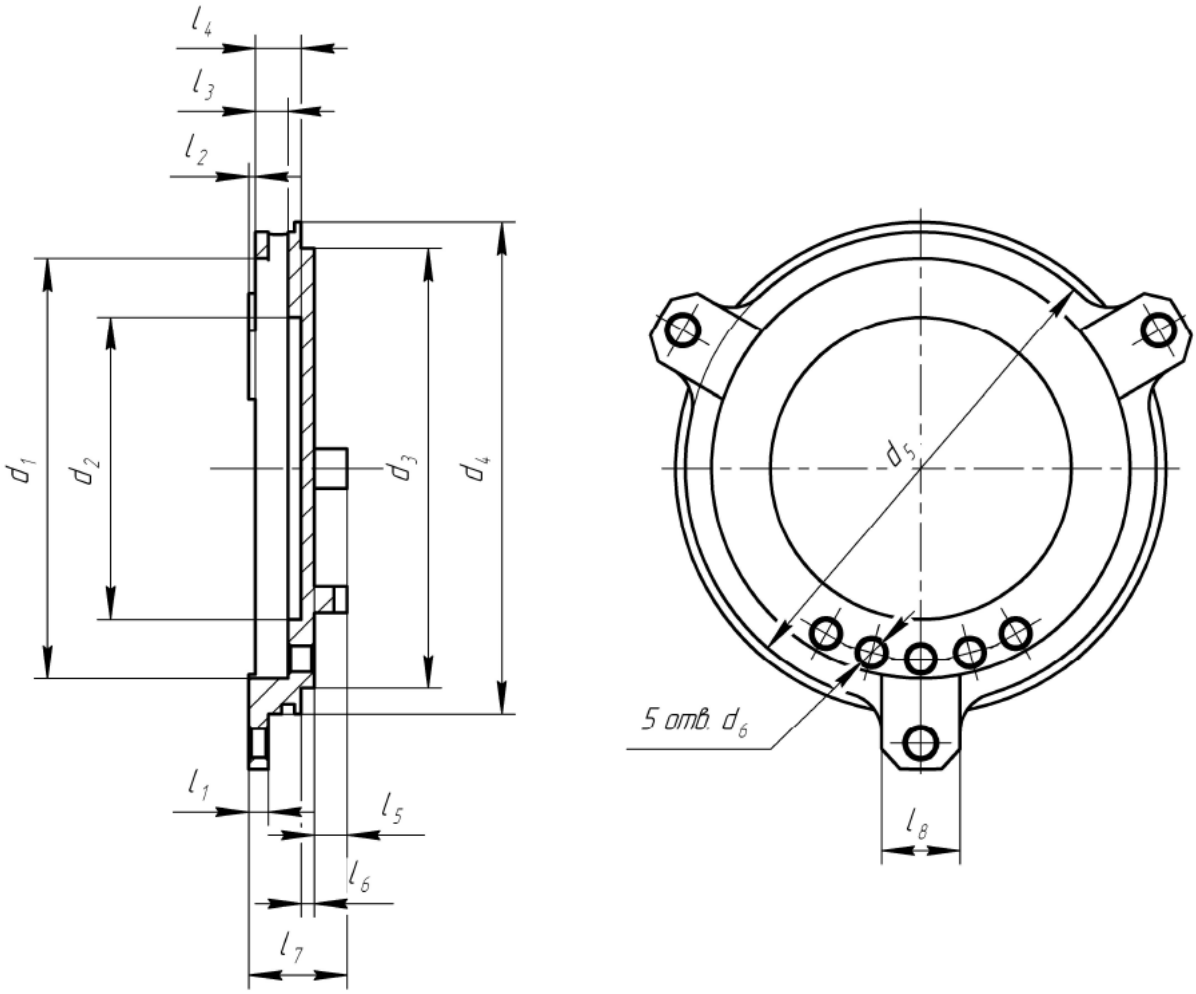


Рисунок 3.18 - Деталь №1 – корпус акселерометра

Таблиця 3.1 - Результати одиничних вимірювань X_i розмірів деталі №1

№ вимірювання i	Результати одиничних вимірювань X_i розмірів, мм						
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	l_1
1							
2							
3							
4							
5							

№ вимірювання i	Результати одиничних вимірювань X_i розмірів, мм						
	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	
1							
2							
3							
4							
5							

3.3.2.2 <u>Деталь №2</u> - колодка з гермовводами датчика тиску.

Робоче креслення деталі показане на рис. 3.19. Розміри, які необхідно виміряти, позначені на кресленні буквами. Результати одиничних вимірювань X_i, $(i = \overline{1,5})$ цих розмірів повинні бути записані в таблицю 3.2.

Викладач має робочі креслення деталей №1 і №2 із зазначенням усіх вимірюваних розмірів із граничними відхиленнями.

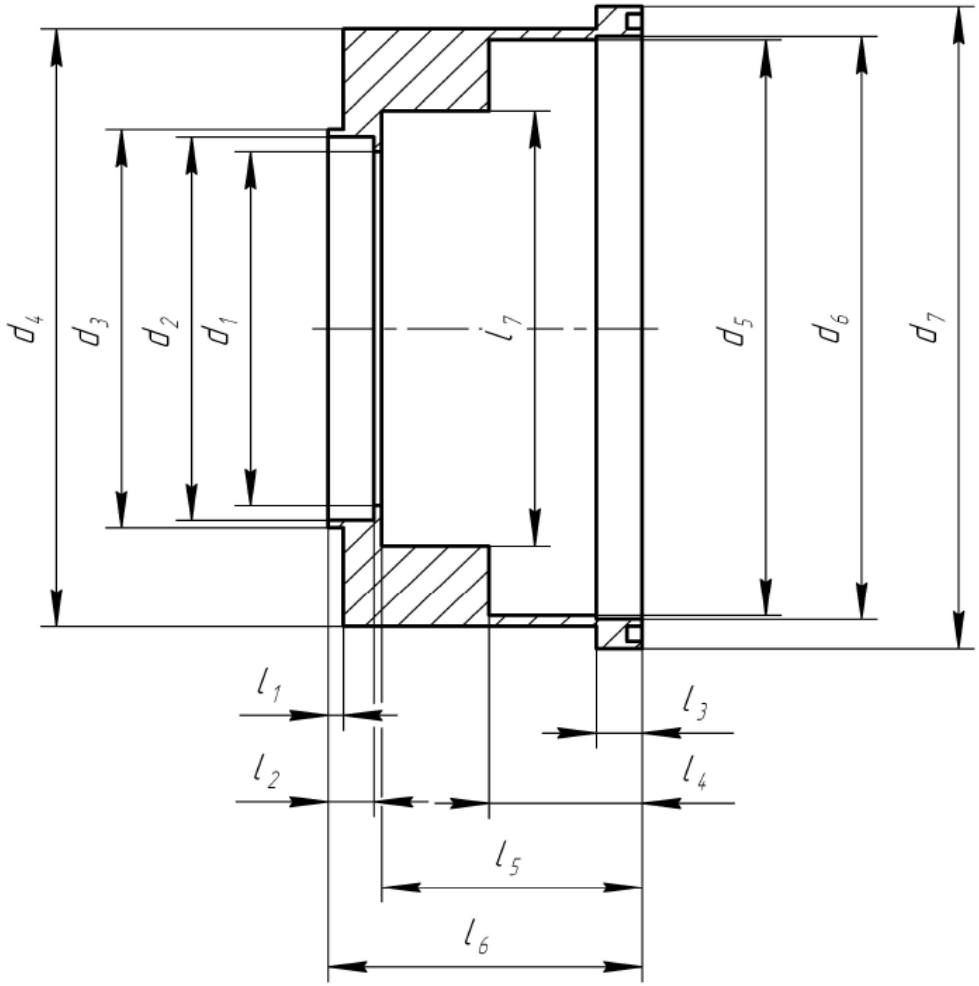


Рисунок 3.19 - Деталь №2 – колодка датчика тиску

Таблиця 3.2 - Результати одиничних вимірювань X_i розмірів деталі №2

№ вимірювання i	Результати одиничних вимірювань X_i розмірів, мм						
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7
1							
2							
3							
4							
5							

Продовження таблиці 1.2

№ вимірювання i	Результати одиничних вимірювань X_i розмірів, мм						
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7
1							
2							
3							
4							
5							

3.4 Підготовка до виконання лабораторної роботи

При підготовці до виконання лабораторної роботи кожен студент самостійно повинен виконати наступне:

– вивчити принцип дії, конструкції, метрологічні характеристики і правила виконання вимірювань штангенциркулями ШЦ-1 і ШЦ-2;

– вивчити рисунки робочих креслень деталей №1 і №2 (п. 3.3.2). Чітко зрозуміти, які розміри вимірюються, і продумати прийоми їх вимірювання штангенциркулями ШЦ-1 і ШЦ-2;

- вивчити порядок виконання лабораторної роботи наведений в п. 3.5;

- підготувати проект звіту (протокол) з виконання лабораторної роботи за вимогами наведеними в п. 3.6.

В проекті звіту повинні бути всі пункти зазначені в п. 3.6 з необхідними таблицями та чистими сторінками для відповідних розрахунків.

3.5 Порядок виконання лабораторної роботи та обробки результатів вимірювань

Лабораторну роботу кожен студент повинен виконати індивідуально в наступній послідовності.

3.5.1 Одержати допуск до виконання роботи, відповівши на питання викладача.

3.5.2 Перевірити, з метою виключення систематичних похибок, що можуть бути внесені засобом вимірювання до РВ, нульові покази штангенциркуля, яким будуть здійснюватися вимірювання.

3.5.3 Вимірити штангенциркулем (ШЦ-1 чи ШЦ-2) зазначені на кресленнях розміри X деталей №1 і №2. Вимірювання кожного розміру виконати 5 разів, по можливості, в різних точках деталі.

Результати одиничних вимірювань (далі - спостережень) X_i , ($i = \overline{1,5}$) (в [мм] з точністю один знак після коми для ШЦ-1 і два знаки після коми - для ШЦ-2) записати в таблиці 3.1 і 3.2 відповідно.

3.5.4 Для кожного вимірюваного розміру X деталей №1 і №2 виконати математичну обробку спостережень у наступній послідовності (порядок обробки результатів вимірювань відповідає [3, 6, 7]).

3.5.4.1 Визначити оцінку результату вимірювання $\bar{X}$ як математичне очікування (МО) M_X результатів випадкових спостережень X_i

$$\bar{X} = M_X = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \ , \ i = \overline{1,n} \ , \ n = 5 \text{ , мм.} \qquad (3.3)$$

Результат розрахунку оцінки РВ $\bar{X}$ (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблиці 3.3. і 3.4 відповідно.

3.5.4.2 Обчислити середньоквадратичне відхилення (СКВ) σ_X результатів спостережень X_i , ($i = \overline{1,5}$)

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2} \ , \ i = \overline{1,n} \ , \ n = 5 \text{ , мм.} \qquad (3.4)$$

Результат розрахунку СКВ σ_X (в [мм] з точністю три знаки після коми) записати в таблиці 3.3. і 3.4 відповідно.

Таблиця 1.3 - Результати розрахунків характеристик РВ розмірів деталі №1

Характе-ристика РВ	Розмір X деталі, що вимірюється						
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	l_1
$\bar{X}$, мм							
σ_X, мм							
$\sigma_{\bar{X}}$, мм							
$\tilde{\Delta}$, мм варіант №__							
Умова за якою визначено Δ							
Δ, мм							

Характе-ристика РВ	Розмір X деталі, що вимірюється						
	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	
$\bar{X}$, мм							
σ_X, мм							
$\sigma_{\bar{X}}$, мм							
$\tilde{\Delta}$, мм варіант №__							
Умова за якою визначено Δ							
Δ, мм							

3.5.4.3 Перевірити відсутність серед спостережень X_i промахів (грубих спостережень, які суттєво відрізняються від інших спостережень ряду), для чого, для ймовірного промаху X_l ($l-го$ РВ) з ряду, розрахувати його відхилення v_l від МО $\bar{X}$ за формулою

$$v_l = \left| X_l - \bar{X} \right| \text{, мм.} \tag{3.5}$$

Далі, для виконаного числа спостережень $n = 5$ і заданої викладачем довірчої ймовірності P визначення результату вимірювань (звичайно $P = 0,95$), з таблиці

Б.1 додатку Б вибрати нормоване відхилення $z(P,n)$, для якого перевірити виконання умови X_i

$$v_l \geq z(P,n) \cdot \sigma_x \quad . \tag{3.6}$$

Таблиця 3.4 - Результати розрахунків характеристик РВ розмірів деталі №2

Характе-ристика РВ	Розмір X деталі, що вимірюється						
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7
$\bar{X}$, мм							
σ_x , мм							
$\sigma_{\bar{X}}$, мм							
$\tilde{\Delta}$, мм варіант №__							
Умова за якою визначено Δ							
Δ , мм							

Характе-ристика РВ	Розмір X деталі, що вимірюється						
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7
$\bar{X}$, мм							
σ_x , мм							
$\sigma_{\bar{X}}$, мм							
$\tilde{\Delta}$, мм варіант №__							
Умова за якою визначено Δ							
Δ , мм							

Якщо умова (3.6) виконується, то спостереження X_l є промахом і воно повинно бути виключено з відповідного ряду спостережень.

Після виключення такого промаху необхідно для даного вимірюваного розміру X повторно визначити при $n = 4$ оцінки РВ $\bar{X}$ і СКВ σ_x за формулами

(3.3) і (3.4). Результати цих повторних розрахунків записати замість попередніх в таблиці 3.3. і 3.4 відповідно.

3.5.4.4 Обчислити СКВ результату вимірювань $\sigma_{\overline{x}}$, як СКВ результату групового вимірювання (спостереження), за формулою

$$\sigma_{\overline{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \ , \ n = 5 \ , \text{мм.} \tag{3.7}$$

Результат розрахунку СКВ $\sigma_{\overline{x}}$ (в [мм] з точністю три знаки після коми) записати в таблиці 3.3. і 3.4 відповідно.

3.5.4.5. Знайти довірчі межі $\tilde{\Delta}$ випадкової складової похибки кожного результату вимірювань

$$\tilde{\Delta} = \pm t_p \sigma_{\overline{x}} \ , \text{мм,} \tag{3.8}$$

де t_p - коефіцієнт Стьюдента, який попередньо обрати з таблиці Б.2 додатку Б для наданих в таблиці 3.5 за варіантами (номер варіанту відповідає номеру студента за списком навчальної групи) числових значень вихідних даних n і P .

Таблиця 3.5 - Значення вихідних даних n і P за варіантами

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	0,7	0,9	0,95	0,997	0,7	0,9	0,95	0,997	0,7	0,9
n	3	4	5	6	7	8	9	10	5	6

Варіант №	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	0,95	0,997	0,95	0,997	0,7	0,9	0,95	0,997	0,7	0,95
n	7	8	9	7	4	8	10	5	6	5

Результат розрахунку $\tilde{\Delta}$ (в [мм] зі знаком $\pm$, з точністю три знаки після коми) записати в таблиці 3.3. і 3.4 відповідно.

3.5.4.6 Записати з технічних характеристик (п. 3.2) межу допустимої похибки засобу вимірювань $\Delta_{ЗВ}$ - відповідного штангенциркуля, яким проводилося вимірювання:

$\Delta_{ЗВ} = \Delta_1 = 0{,}1\,мм$ - для ШЦ-1; $\Delta_{ЗВ} = \Delta_1 = 0{,}1\,мм$ - для ШЦ-2. (3.9)

Далі розглядати $\Delta_{ЗВ}$ як невиключену систематичну складову похибки кожного результату вимірювань, внесену відповідним засобом вимірювань.

3.5.4.7 Обчислити довірчі межі сумарної основної похибки Δ кожного результату вимірювань (в залежності від можливих значень співвідношення між складовою цієї похибки $\Delta_{ЗВ}$ і СКВ результату вимірювань $\sigma_{\overline{x}}$) наступним чином:

- якщо виконується умова

$$\frac{\Delta_{ЗВ}}{\sigma_{\overline{x}}} \prec 0{,}8\ , \tag{3.10}$$

то складовою $\Delta_{ЗВ}$ зневажають і приймають, що <u>довірчі межі сумарної основної похибки Δ кожного результату вимірювань</u> визначаються виразом

$$\Delta = \tilde{\Delta} = \pm t_p \sigma_{\overline{x}}\ , \text{ мм;} \tag{3.11}$$

- якщо виконується умова

$$\frac{\Delta_{ЗВ}}{\sigma_{\overline{x}}} \succ 8\ , \tag{3.12}$$

то складовою $\tilde{\Delta}$ зневажають і приймають, що <u>довірчі межі сумарної основної похибки Δ кожного результату вимірювань</u> визначаються за формулою

$$\Delta = \pm \Delta_{ЗВ}\ , \text{ мм;} \tag{3.13}$$

- якщо виконується умова

$$0{,}8 \le \frac{\Delta_{ЗВ}}{\sigma_{\overline{x}}} \le 8\ , \tag{3.14}$$

то <u>довірчі межі сумарної основної похибки Δ кожного результату вимірювань</u> із визначеною у п. 3.5.4.5 ймовірністю P можуть бути визначені за спрощеною формулою

$$\Delta = \pm\sqrt{\Delta_{ЗВ}^{\ 2} + \tilde{\Delta}^2}\ , \text{ мм.} \tag{3.15}$$

Результат розрахунку Δ (в [мм] зі знаком $\pm$, з точністю три знаки після коми) записати в таблиці 3.3. і 3.4 відповідно.

3.5.4.8 Записати в таблицю 1.6 результати вимірювань відповідних розмірів деталей №1 і №2 у вигляді

$$\hat{X} = \bar{X} \pm \Delta \ , \ P \ , \text{мм.} \qquad (3.16)$$

3.5.4.9 Порівняти отримані результати вимірювань з розмірами, що зазначені в робочих кресленнях деталей №1 і №2. Робочі креслення деталей з розмірами видає викладач. Результати цього порівняння у вигляді запису "відпов.", або "не відпов." занести в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 - Результати вимірювань $\hat{X}$ розмірів деталей №1 і №2 та їх порівняння з розмірами зазначеними в робочих кресленнях деталей

Деталь №		Результати вимірювань $\hat{X}$ та порівняння розмірів						
		d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7
1	$\hat{X}$, мм							
	відпов. / *не відп.*							
2	$\hat{X}$, мм							
	відпов. / *не відп.*							

Деталь №		Результати вимірювань $\hat{X}$ та порівняння розмірів						
		l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7
1	$\hat{X}$, мм							
	відпов. / *не відп.*							
2	$\hat{X}$, мм							
	відпов. / *не відп.*							

3.5.4.10 Зробити висновки про відповідність вимірюваних розмірів деталей вимогам робочих креслень деталей №1 і №2.

3.6 Зміст звіту з виконання лабораторної роботи

Звіт з виконання лабораторної роботи має містити наступні пункти:

- титульний аркуш, оформлений відповідно до вимог додатку А і підписаний студентом;

- пункт "*1. Мета лабораторної роботи*";

- пункт "*2. Короткий опис і технічні характеристики штангенциркулів ШЦ-1 і ШЦ-2*", (2…3 сторінки за обсягом);

- пункт "*3. Креслення деталей та результати одиничних вимірювань їх розмірів*". В цьому пункті необхідно надати рисунки 3.18, 3.19 з кресленнями деталей і таблиці 3.1 і 3.2 з результатами одиничних вимірювань, вказаних на рисунках розмірів цих деталей;

- пункт "*4. Розрахунки характеристик результатів вимірювань розмірів деталей*". В цьому пункті необхідно надати всі розрахунки за п.п. 3.5.4.1…3.5.4.9, що виконані студентом власноруч, а також заповнені таблиці 3.3 і 3.4 з результатами цих розрахунків.

Допускається розрахунки виконувати за допомогою комп'ютерної програми MatCad (візуалізує формули і дозволяє викладачу виконати перевірку правильності розрахунків). У цьому випадку у п. 3.6 звіту надається лістинг програми з необхідними коментарями на ньому (приблизно 3…4 сторінки за обсягом);

- пункт "*5. Результати вимірювань розмірів деталей та їх порівняння з розмірами зазначеними в робочих кресленнях деталей*". В цьому пункті необхідно надати таблицю 3.6 з результатами вимірювань розмірів деталей та їх порівняння з розмірами зазначеними в робочих кресленнях деталей, а також всі необхідні пояснення щодо цього порівняння, (приблизно 2 сторінки за обсягом);

- пункт "*6. Висновки з проведених вимірювань*".

3.7 Контрольні запитання

3.7.1 Поясніть конструкцію і принцип дії штангенциркуля.

3.7.2 Поясніть технічні характеристики штангенциркулів ШЦ-1 і ШЦ-2.

3.7.3 Яким чином здійснюється зчитування результатів вимірювань (спостережень) у штангенциркулів ШЦ-1 і ШЦ-2?

3.7.4 Яким чином і з якою метою здійснюється налагодження нульових положень у штангенциркуля ШЦ-2 перед вимірюванням? Чи можливо виконати таке налагодження у штангенциркуля ШЦ-2?

3.7.5 Назвіть основні правила роботи з штангенциркулем.

3.7.6 Як визначається сумарна основна похибка результату вимірювань в залежності від можливих співвідношень між складовими цієї похибки?

3.7.7 Яким чином основна похибка результату вимірювань залежить від заданої довірчої ймовірності і кількості вимірювань? Поясніть це фізично і на прикладах.

3.7.8 Питання підвищеної складності: вимірювання проводяться штангенциркулем ШЦ-2, у якого при щільно зведених між собою губках для зовнішніх вимірювань (нульове положення) не збігаються нульові штрихи штанги і ноніуса, а збігаються перший штрих ноніуса і другий штрих штанги. Яка (систематична, або випадкова) похибка при цьому вноситься в результати вимірювань, виконаних даним штангенциркулем, і яке числове значення цієї похибки?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2
ВИМІРЮВАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ РОЗМІРІВ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДАТЧИКІВ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН МІКРОМЕТРИЧНИМ ІНСТРУМЕНТОМ. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ПРЯМИХ ТА НЕПРЯМИХ (КОСВЕНИХ) ВИМІРЮВАНЬ

4.1 Мета лабораторної роботи

4.1.1 Вивчити принцип дії, конструкції і метрологічні характеристики сучасних мікрометрів.

4.1.2 Вивчити правила виконання вимірювань мікрометрами і методику обробки результатів вимірювань.

4.1.3 Виконати вимірювання високоточних розмірів приладобудівних деталей мікрометром і обробити результати вимірювань. Порівняти результати вимірювань з розмірами, нанесеними на робочі креслення деталей.

4.2 Основні теоретичні відомості

У приладобудуванні та машинобудуванні для вимірювання з високою точністю розмірів найбільш відповідальних деталей застосовують мікрометричні інструменти загального призначення: мікрометри, мікрометричні глибиноміри і нутроміри [3].

2.1. Мікрометри типу МК [3, 8, 9]

Мікрометри типу МК призначені для зовнішніх вимірювань лінійних розмірів. Технічні характеристики мікрометрів типу МК 2-го класу точності (найбільш часто застосовуються у приладобудуванні) наведені в таблиці 4.1.

У машинобудуванні застосовують мікрометри типу МК з верхньою межею вимірювання (ВМВ) до 3000 мм.

Робоче переміщення вимірювального мікрометричного гвинта у всіх мікрометрах типу МК складає 25 мм.

Конструкція мікрометрів типу МК показана на рис. 4.1.

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики мікрометрів типу МК

Позначення	Діапазон вимірювання, мм	Ціна поділки $\Delta_{ЦП}$, мм	Межа допустимої похибки $\Delta_{ЗВ}$, мм	Розмір установочної міри, мм	Клас точності
МК-25	0…25	0,01	±0,004	-	2
МК-50	25…50			25	
МК-75	50…75			50	
МК-100	75…100			75	

а)

б)

Рисунок 4.1 - Мікрометри типу МК: 1 – п'ята; 2 – установочна міра; 3 – мікрометричний гвинт; 4 - стебло; 5 - барабан; 6 - тріскачка; 7 - стопор; 8 – скоба

До мікрометрів з нижньою межею вимірювання (НМВ) 25 μм і більше додаються установочні міри для перевірки нульового положення (рис. 4.1.б). Мікрометри з верхньою межею вимірювання (ВМВ) понад 300 μм мають змінну чи пересувну п'яту для збільшення діапазону виміру до 100 мм.

На рис. 4.2 показана сучасна удосконалена модель мікрометра типу МК 1-го класу точності виробництва підприємства МІКРОТЕХ (м. Харків, Україна). В таблиці 4.2 наведені його технічні характеристики [9].

Допустиме вимірювальне зусилля у мікрометрів типу МК складає 5…10 Н і забезпечується спеціальним механізмом - тріскачкою. Конструкції тріскачок показані на рис. 4.3.

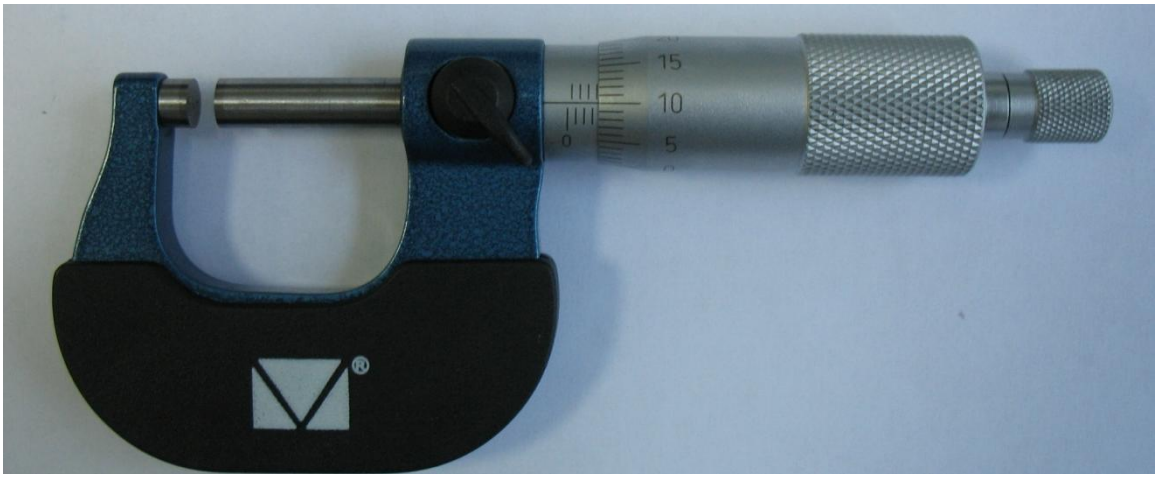


Рисунок 4.2 - Удосконалений мікрометр типу МК

Таблиця 4.2 - Технічні характеристики удосконаленого мікрометра типу МК

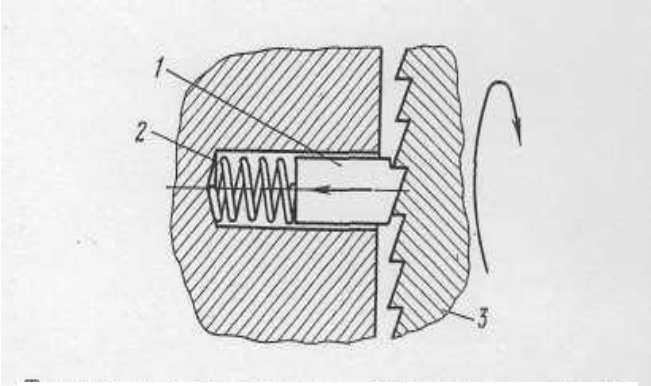
Позначення	Діапазон вимірювання, мм	Ціна поділки $\Delta_{ЦП}$, мм	Межа допустимої похибки $\Delta_{ЗВ}$, мм	Розмір установочної міри, мм	Клас точності
МК-25	0…25	0,01	±0,002	-	1
МК-50	25…50		±0,0025	25	
МК-75	50…75			50	
МК-100	75…100			75	

Положення мікрометричного гвинта відносно скоби фіксується стопором. Конструкції стопорів показані на рис. 4.4.

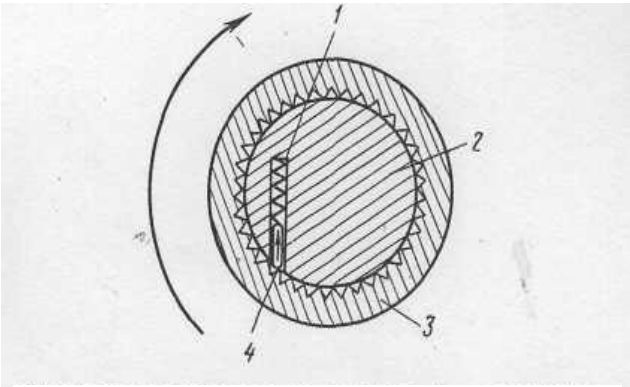
В мікрометричних інструментах використовується високоточна гвинтова пара - мікрометричний гвинт (рис. 4.5). Подовжнє переміщення гвинта пропорційне кроку різьби (0,5 мм) і куту повороту гвинта.

Кут повороту мікрометричного гвинта відраховується по шкалі барабана (рис. 4.6). Барабан розділений по окружності на 50 рівних частин. При повороті на

одну поділку барабана 1 мікрометричний гвинт 2, з'єднаний з барабаном, переміщується вздовж осі на 1/50 кроку різьби, тобто на величину $\Delta_{ЦП} = {0,5\,мм}/{50} = 0,01\,мм$, що є ціною поділки мікрометра.



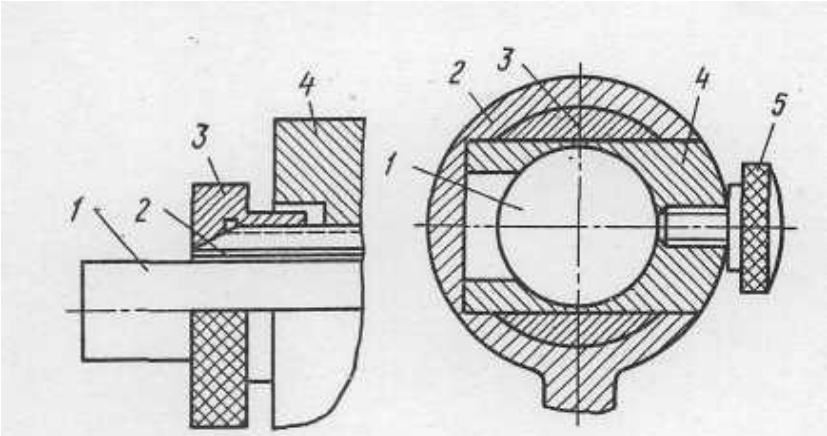
Конструкція трискачки типу А



Конструкція трискачки типу Б

а) б)

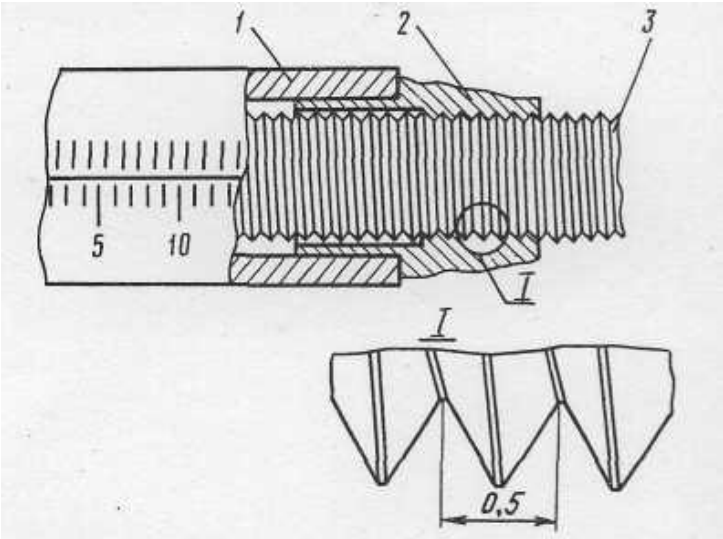
Рисунок 4.3 - Конструкції тріскачок мікрометрів. А) тріскачка з торцевими зубами: 1 – штифт; 2 – пружина; 3 – храповик. Б) тріскачка з зубами на кільці: 1 – пружина; 2 – корпус; 3 – втулка шліцева; 4 - штифт



Цанговий: 1-мікрогвинт; 2 – гільза розрізна; 3-гайка; 4-скоба

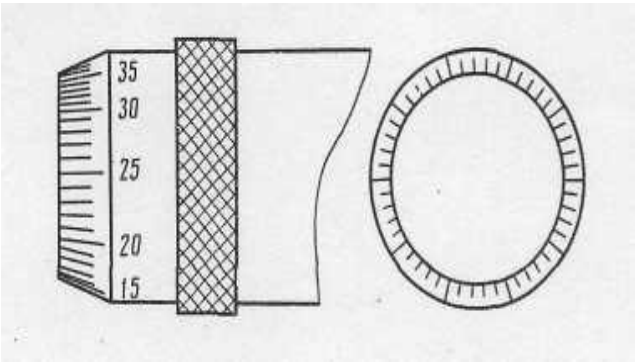
З зажимним гвинтом: 1-мікрогвинт; 2 –скоба; 3-стебло; 4-втулка; 5- гвинт зажимний

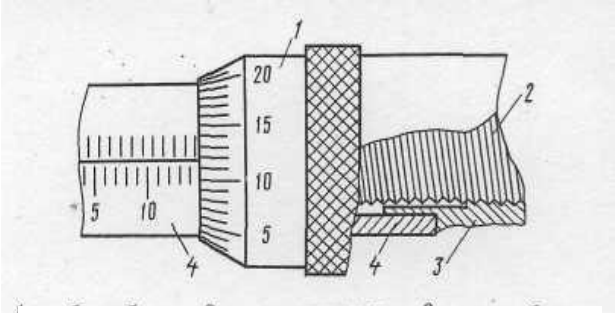
Рисунок 4.4 - Стопори мікрометрів



Конструкція мікрометричного гвинта

Рисунок 4.5 - Мікрометричний гвинт: 1 – стебло; 2 – втулка різьбова; 3 - мікрогвинт





Елементи шкал мікрометра типу МК

Рисунок 4.6 - Шкали мікрометра: 1 – шкала барабану; 2 – мікрогвинт; 3 - втулка різьбова; 4 – шкала стебла

У нульовому положенні мікрометра при стиканні вимірювальних поверхонь (губок) між собою нульовий штрих шкали барабана повинен збігатися з подовжнім штрихом шкали стебла, а скіс барабана повинен відкривати нульовий штрих шкали стебла (рис. 4.7).

Якщо це не виконується, то, перед початком вимірювань, необхідно

виконати установку мікрометра на нуль у такий спосіб: привести вимірювальні поверхні в стик одна з одною під зусиллям тріскачки; закріпити мікрогвинт стопором; роз'єднати барабан з мікрогвинтом; обертаючи барабан, сполучити нульовий штрих шкали барабана з подовжнім штрихом шкали стебла; закріпити барабан і перевірити нульове положення.

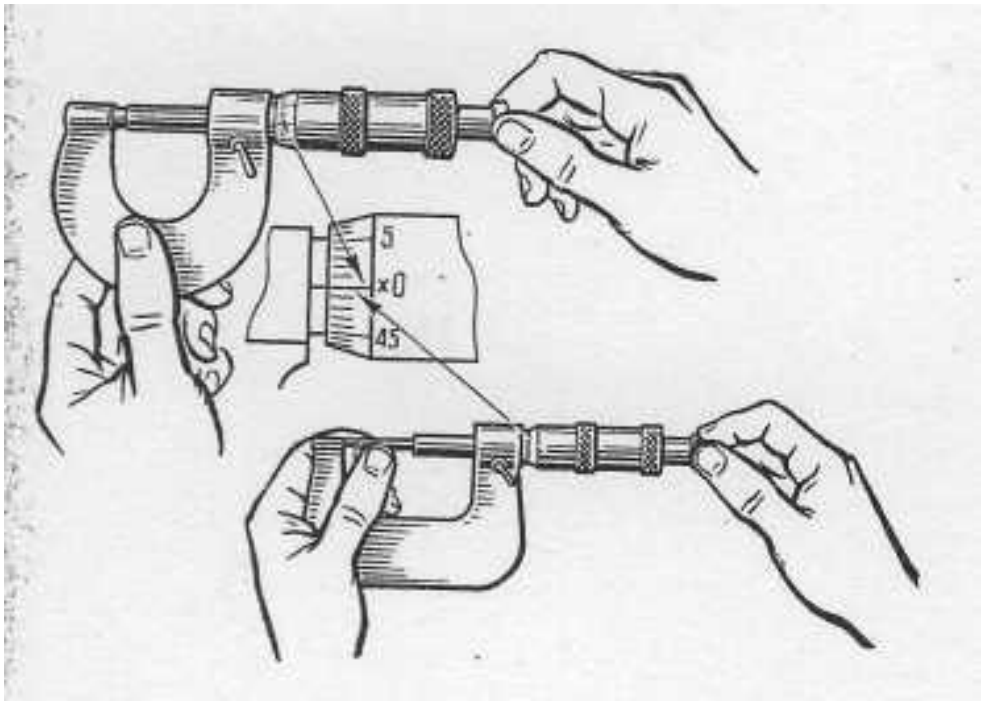


Рисунок 4.7 - Нульове положення мікрометра

Визначення результату вимірювань мікрометром здійснюється таким чином (рис.4.8). Ціле число міліметрів і половину міліметра відраховують краєм скосу барабана по шкалі стебла. Соті частки міліметра визначають множенням ціни поділки мікрометра $\Delta_{ЦП} = 0,01 мм$ на порядковий номер штриха шкали барабана, що співпадає з подовжнім штрихом шкали стебла.

Результат одиничного вимірювання мікрометром типу МК записується наступним способом

$$L_1 = 0,63 \pm 0,004\, мм \quad , \; L_2 = 33,68 \pm 0,004\, мм \quad .$$

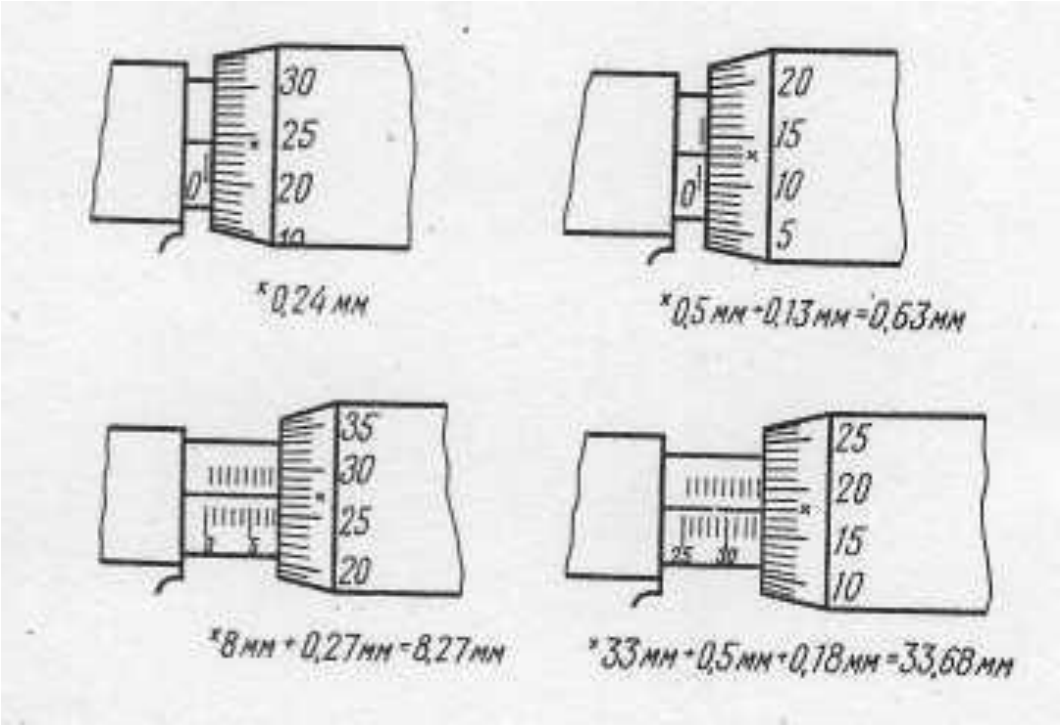


Рисунок 4.8 - Визначення результату вимірювань мікрометром

4.2.2 Мікрометри підвищеної точності типу МКПТ [8, 10]

Мікрометри МКПТ виготовляються компанією "Мікротех" (м. Харків) за окремими технічними умовами і внесені до Державного реєстру України як засіб вимірювальної техніки за номером У1988-04.

На рис. 4.9 показана конструкція мікрометрів типу МКПТ. В таблиці 4.3 наведені їх основні технічні характеристики [10].

У мікрометрів МКПТ зменшення ціни поділки до величини $\Delta_{ЦП} = 0,001\,мм$ і межі допустимої похибки до величини $\Delta_{ЗВ} = \pm 0,002\,мм$ досягається шляхом введення додаткового ноніуса на десять поділок для більш точного вимірювання кута повороту барабана, зв'язаного з мікрометричним гвинтом.

Рисунок 4.9 - Мікрометр типу МКПТ

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики мікрометру типу МКПТ

Позначення	Діапазон вимірювання, мм	Ціна поділки $\Delta_{ЦП}$, мм	Межа допустимої похибки $\Delta_{ЗВ}$, мм	Розмір установочної міри, мм	Клас точності
МКПТ-25	0…25	0,001	±0,002	-	1
МКПТ -50	25…50			25	
МКПТ -75	50…75			50	
МКПТ -100	75…100			75	

4.3. Лабораторне устаткування і прийоми виконання вимірювань

Всі вказані в п. 4.3 лабораторної роботи вимірювання проводяться за допомогою мікрометра МК-25 2-го класу точності, або мікрометра МКПТ-25 1-го класу точності.

4.3.1 Прийоми виконання вимірювань мікрометром

4.3.1.1 При підготовці до роботи необхідно протерти чистою сухою тканиною вимірювальні поверхні мікрометра і перевірити його установку на нуль.

4.3.1.2 Вимірювання розміру деталі роблять наступним шляхом: встановлюють деталь у вимірювальний зазор мікрометра; обертаючи барабан за

допомогою тріскачки, забезпечують стикання деталі з вимірювальними поверхнями мікрометра (після стикання відбувається "проскакування" тріскачки); погойдуванням деталі перевіряють відсутність її перекосу, стопорять мікрогвинт; зчитують показання мікрометра.

4.3.1.3 Забороняється робити обертання мікрометричного гвинта в напрямку зближення вимірювальних поверхонь за допомогою барабана.

На рис. 4.10 показані основні прийоми вимірювання мікрометром.

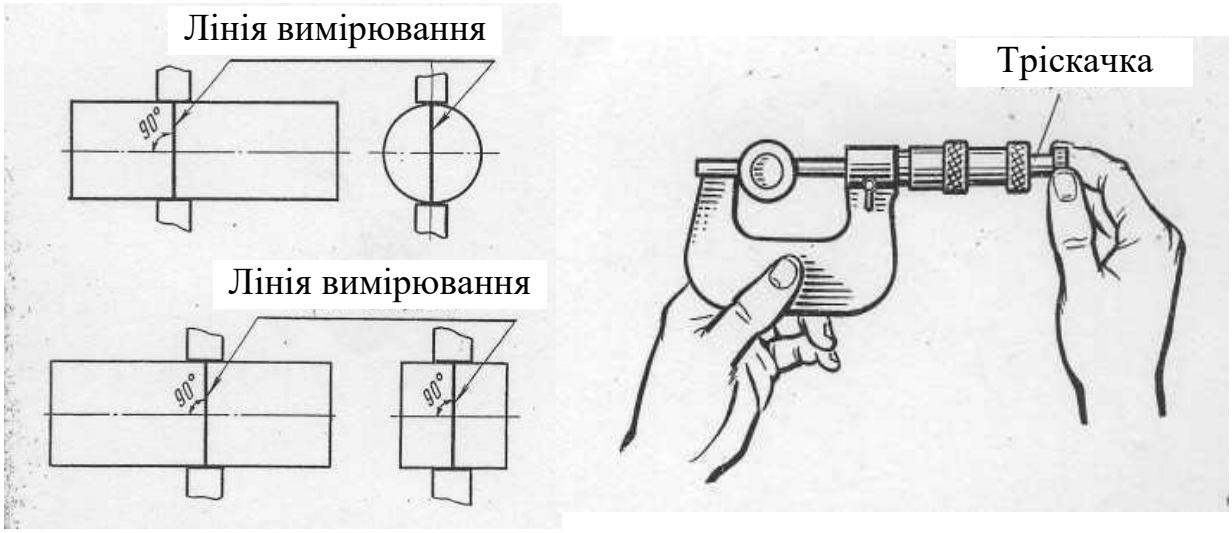


Рисунок 4.10 - Прийоми вимірювання мікрометром

При зчитуванні показань мікрометр необхідно тримати прямо перед очима.

4.3.2 Опис деталей розмірі яких вимірюються

4.3.2.1 Деталь №1 - пластина чутливого елемента (ЧЕ) лінійного акселерометра прямого вимірювання показана на рис. 4.11.

Пластина ЧЕ складається з нерухомої частини А, рухомої частини Б і пружного підвісу (ПП), який містить чотири балочних пружних елемента (ПЕ) С, що з'єднують між собою рухому і нерухому частини ЧЕ. Основними конструктивними параметрами, що визначають лінійну жорсткість, а відповідно і відносне переміщення рухомої частини Б (під дією вимірювального прискорення) такого ПП, є товщини h пружних елементів С пружного підвісу ЧЕ.

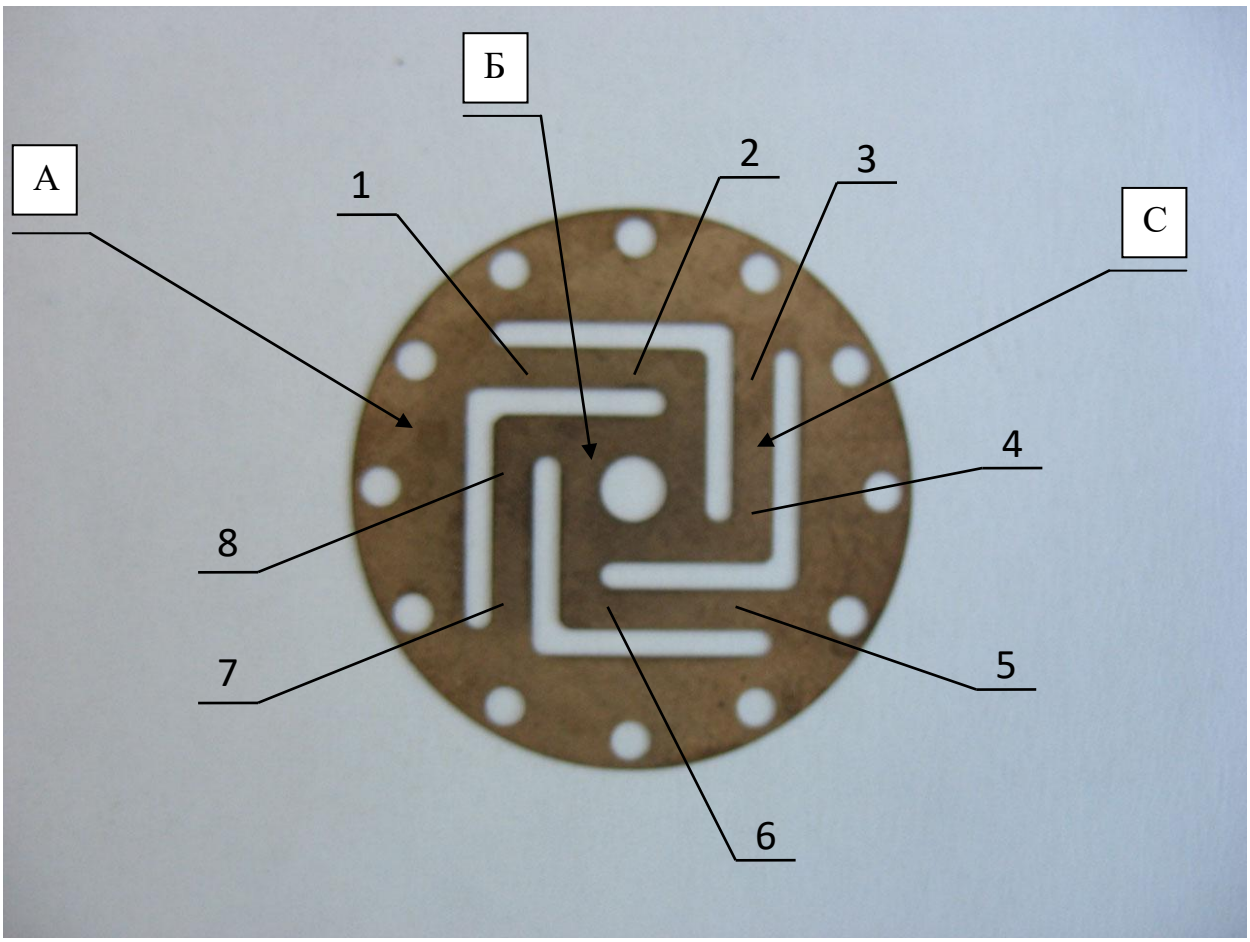


Рисунок 4.11 - Деталь №1 – пластина ЧЕ акселерометра

В лабораторній роботі необхідно виміряти товщини h_j ПЕ в точках j ($j = \overline{1,8}$ - номер точки вимірювання товщини), які вказані на рис. 2.11. Результати одиничних вимірювань (спостережень) h_{ji} , ($i = \overline{1,5}$ - номер вимірювання (спостереження) в даній точці) цих розмірів (товщин ПЕ) повинні бути записані в таблицю 4.4.

4.3.2.2 Деталь №2 - заготовка для виготовлення пластини ЧЕ компенсаційного акселерометра показана на рис. 4.12. Методом електроерозійної обробки з цієї заготовки в процесі виготовлення буде вирізано конфігурацію плоского ЧЕ акселерометра. При цьому товщини пружних елементів ЧЕ визначаються товщиною вихідної заготовки.

Таблиця 4.4 - Результати одиничних вимірювань h_{ji} розмірів деталі №1

№ вимірювання i	Результати одиничних вимірювань h_{ji} розмірів, мм							
	h_{1i}	h_{2i}	h_{3i}	h_{4i}	h_{5i}	h_{6i}	h_{7i}	h_{8i}
1								
2								
3								
4								
5								

Необхідно виміряти товщини h_j заготовки в точках j ($j = \overline{1,5}$ - номер точки вимірювання товщини), які вказані на рис. 2.12. Результати одиничних вимірювань (спостережень) h_{ji}, ($i = \overline{1,5}$ - номер вимірювання (спостереження) в даній точці) цих розмірів (товщин заготовки) повинні бути записані в таблицю 4.5.

Викладач має робочі креслення деталей №1 і №2 із зазначенням усіх вимірюваних розмірів з граничними відхиленнями.

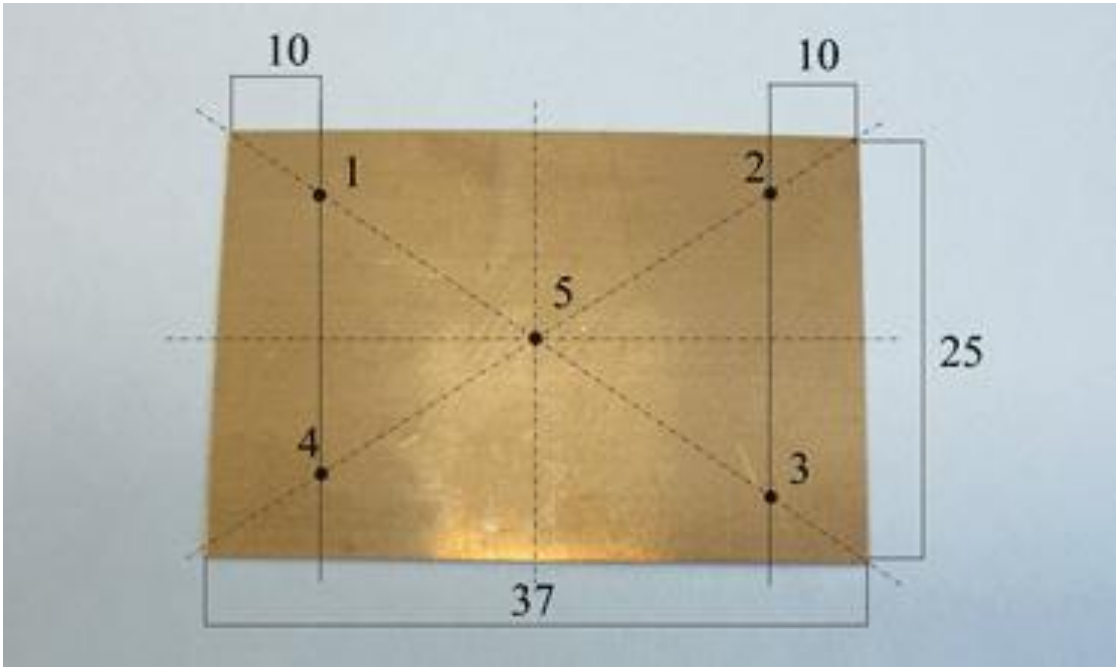


Рисунок 4.12 Деталь №2 – заготовка для виготовлення пластини ЧЕ

Таблиця 4.5 - Результати одиничних вимірювань h_{ji} розмірів деталі №2

№ вимі-рювання i	Результати одиничних вимірювань h_{ji} розмірів, мм				
	h_{1i}	h_{2i}	h_{3i}	h_{4i}	h_{5i}
1					
2					
3					
4					
5					

4.4 Підготовка до виконання лабораторної роботи

При підготовці до виконання лабораторної роботи кожен студент самостійно повинен виконати наступне:

– вивчити принцип дії, конструкції, метрологічні характеристики і правила виконання вимірювань мікрометрами типу МК-25 і МКПТ-25;

– вивчити ескізи деталей №1 і №2 (п.3.2). Чітко зрозуміти, які розміри вимірюються, і продумати прийоми їх вимірювання мікрометрами типу МК і МКПТ;

- вивчити порядок виконання лабораторної роботи наведений в п. 4.5;

- підготувати проект звіту (протокол) з виконання лабораторної роботи за вимогами наведеними в п. 4.6. В проекті звіту повинні бути всі пункти, зазначені в п. 4.6, з необхідними таблицями та чистими сторінками для відповідних розрахунків.

4.5. Порядок і рекомендації щодо виконання лабораторної роботи та обробки результатів вимірювань

Лабораторну роботу кожен студент повинен виконати індивідуально в наступній послідовності.

4.5.1 Одержати допуск до виконання роботи, відповівши на питання викладача.

4.5.2 Перевірити, з метою виключення систематичних похибок, що можуть бути внесені засобом вимірювання до РВ, нульові покази мікрометра, яким будуть здійснюватися вимірювання.

4.5.3 Виміряти мікрометром типу МК зазначені на рисунках 4.11 і 4.12 розміри h_j деталей №1 і №2. Вимірювання кожного розміру виконати 5 разів, по можливості, в різних точках деталі.

Результати одиничних вимірювань (далі – спостережень) h_{ji} , ($i = \overline{1,5}$) (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблиці 4.4 і 4.5 відповідно.

4.5.4 Для кожного вимірюваного розміру h_j деталей №1 і №2 виконати математичну обробку спостережень у наступній послідовності (порядок обробки результатів вимірювань відповідає [3, 6, 7]).

4.5.4.1 Визначити оцінку результату вимірювання $\bar{h}_j$ як математичне очікування (МО) M_x результатів випадкових спостережень h_{ji}

$$\bar{h}_j = M_{xj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} h_{ji} \ , \ i = \overline{1,n} \ , \ n = 5 \ , \text{мм.} \qquad (4.1)$$

Результат розрахунку оцінки РВ $\bar{h}_j$ (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблиці 4.6. і 4.7 відповідно.

4.5.4.2 Обчислити середньоквадратичне відхилення (СКВ) σ_{xj} результатів спостережень h_{ji} , ($i = \overline{1,5}$)

$$\sigma_{xj} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(h_{ji} - \bar{h}_j)^2} \ , \ i = \overline{1,n} \ , \ n = 5 \ , \text{мм.} \qquad (4.2)$$

Результат розрахунку СКВ σ_{xj} (в [мм] з точністю чотири знаки після коми) записати в таблиці 4.6. і 4.7 відповідно.

Таблиця 4.6 – Результати розрахунків характеристик РВ розмірів деталі №1

Характе-ристика РВ	Розмір h_j деталі, що вимірюється							
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8
$\bar{h}_j$, мм								
σ_{xj}, мм								
$\sigma_{\bar{x}j}$, мм								
$\tilde{\Delta}_j$, мм варіант №__								
Умова за якою визначено Δ								
Δ_j, мм								

Таблиця 4.7 – Результати розрахунків характеристик РВ розмірів деталі №2

Характе-ристика РВ	Розмір h_j деталі, що вимірюється				
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
$\bar{h}_j$, мм					
σ_{xj}, мм					
$\sigma_{\bar{x}j}$, мм					
$\tilde{\Delta}_j$, мм варіант №__					
Умова за якою визначено Δ					
Δ_j, мм					

4.5.4.3 Перевірити відсутність серед спостережень h_{ji} промахів (грубих спостережень, які суттєво відрізняються від інших спостережень ряду), для чого для ймовірного промаху h_{jl} ($l-го$ РВ) з ряду розрахувати його відхилення ν_{jm} від МО $\bar{X}$ за формулою

$$\nu_{jl} = \left| h_{jl} - \bar{h}_j \right| \text{, мм.} \tag{4.3}$$

Далі, для виконаного числа спостережень $n = 5$ і заданої викладачем довірчої ймовірності P визначення результату вимірювань (звичайно $P = 0,95$), з таблиці Б.1 додатку Б вибрати нормоване відхилення $z(P,n)$, для якого перевірити виконання умови X_i

$$v_{jl} \geq z(P,n) \cdot \sigma_{xj} \quad . \tag{4.4}$$

Якщо умова (2.4) виконується, то спостереження h_{jl} є промахом, і воно повинно бути виключено з відповідного ряду спостережень.

Після виключення такого промаху необхідно для даного вимірюваного розміру h_j повторно визначити при $n = 4$ оцінки РВ $\overline{h}_j$ і СКВ σ_{xj} за формулами (4.1) і (4.2). Результати цих повторних розрахунків записати замість попередніх в таблиці 4.6. і 4.7 відповідно.

4.5.4.4 Обчислити СКВ результату вимірювань $\sigma_{\overline{x}j}$, як СКВ результату групового вимірювання, за формулою

$$\sigma_{\overline{x}j} = \frac{\sigma_{xj}}{\sqrt{n}} \text{ , } n = 5 \text{ , мм.} \tag{4.5}$$

Результат розрахунку СКВ $\sigma_{\overline{x}j}$ (в [мм] з точністю чотири знаки після коми) записати в таблиці 4.6. і 4.7 відповідно.

5.4.5 Знайти довірчі межі $\tilde{\Delta}_j$ випадкової складової похибки кожного результату вимірювань

$$\tilde{\Delta}_j = \pm t_p \sigma_{\overline{x}j} \text{ , мм,} \tag{4.6}$$

де t_p - коефіцієнт Стьюдента, який попередньо вибрати з таблиці Б.2 додатку Б для наданих в таблиці 4.8 за варіантами (номер варіанту відповідає номеру студента за списком навчальної групи) числових значень вихідних даних n і P .

Результат розрахунку $\tilde{\Delta}_j$ (в [мм] зі знаком $\pm$, з точністю три знаки після коми) записати в таблиці 4.6. і 4.7 відповідно.

Таблиця 4.8 – Значення вихідних даних n і P за варіантами

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	0,9	0,997	0,7	0,997	0,7	0,9	0,95	0,997	0,7	0,95
n	4	9	6	6	3	5	9	10	5	4

Варіант №	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	0,9	0,7	0,95	0,997	0,7	0,95	0,95	0,997	0,9	0,95
n	7	8	5	8	10	8	10	5	6	7

4.5.4.6 Записати із технічних характеристик (п. 4.2) межу допустимої похибки засобу вимірювань $\Delta_{ЗВ}$ - відповідного мікрометра, яким проводилося вимірювання:

$$\Delta_{ЗВ} = \Delta_1 = 0,004\,мм \text{ - для мікрометра МК-25;}$$

$$\Delta_{ЗВ} = \Delta_1 = 0,002\,мм \text{ - для мікрометра МКПТ-25.} \qquad (4.7)$$

Далі розглядати $\Delta_{ЗВ}$ як невиключну систематичну складову похибки кожного результату вимірювань, внесену відповідним засобом вимірювань.

4.5.4.7 Обчислити довірчі межі сумарної основної похибки Δ_j кожного результату вимірювань, в залежності від можливих співвідношення між складовою цієї похибки $\Delta_{ЗВ}$ і СКВ результату вимірювань $\sigma_{\overline{x}j}$, наступним чином:

- якщо виконується умова

$$\frac{\Delta_{ЗВ}}{\sigma_{\overline{x}j}} \prec 0,8\ , \qquad (4.8)$$

то складовою $\Delta_{ЗВ}$ зневажають і приймають, що довірчі межі сумарної основної похибки Δ_j кожного результату вимірювань визначаються виразом

$$\Delta_j = \tilde{\Delta}_j = \pm t_p \sigma_{\overline{x}j}\ \text{, мм;} \qquad (4.9)$$

- якщо виконується умова

$$\frac{\Delta_{ЗВ}}{\sigma_{\overline{x}j}} \succ 8 \ , \qquad (4.10)$$

то складовою $\tilde{\Delta}_j$ зневажають і приймають, що довірчі межі сумарної основної похибки Δ_j кожного результату вимірювань визначаються за формулою

$$\Delta_j = \pm\Delta_{ЗВ} \ , \text{ мм;} \qquad (4.11)$$

- якщо виконується умова

$$0,8 \le \frac{\Delta_{ЗВ}}{\sigma_{\overline{x}j}} \le 8 \ , \qquad (4.12)$$

то довірчі межі сумарної основної похибки Δ_j кожного результату вимірювань з визначеною у п. 4.5.4.5 ймовірністю P можуть бути визначені за спрощеною формулою

$$\Delta_j = \pm\sqrt{\Delta_{ЗВ}{}^2 + \tilde{\Delta}_j{}^2} \ , \text{ мм.} \qquad (4.13)$$

Результат розрахунку Δ_j (в [мм] зі знаком $\pm$, з точністю три знаки після коми) записати в таблиці 4.6. і 4.7 відповідно.

4.5.4.8 Записати в таблицю 4.9 результати вимірювань відповідних розмірів h_j деталей №1 і №2 у вигляді

$$\hat{h}_j = \overline{h}_j \pm \Delta_j \ , \ P \ , \text{ мм.} \qquad (4.14)$$

4.5.4.9 Порівняти отримані результати вимірювань з розмірами, зазначеними в робочих кресленнях деталей №1 і №2. Робочі креслення деталей з розмірами видає викладач. Результати цього порівняння у вигляді запису "відпов.", або "не відпов." занести в таблицю 4.9.

4.5.4.10. Зробити висновки про відповідність вимірюваних розмірів деталей вимогам робочих креслень деталей №1 і №2.

Таблиця 4.9 - Результати вимірювань $\hat{h}_j$ розмірів деталей №1 і №2 та їх порівняння з розмірами, зазначеними в робочих кресленнях деталей

Деталь №		Результати вимірювань $\hat{h}_j$ та порівняння розмірів							
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8
1	$\hat{h}_j$, мм								
	відпов. / *не відп.*								
2	$\hat{h}_j$, мм								
	відпов. / *не відп.*								

4.6 Зміст звіту з виконання лабораторної роботи

Звіт з виконання лабораторної роботи має містити наступні пункти:

- титульний аркуш, оформлений відповідно до вимог додатку А і підписаний студентом;

- пункт "*1. Мета лабораторної роботи*";

- пункт "*2. Короткий опис і технічні характеристики мікрометра МК-25 та мікрометра МКПТ-25*", (2 сторінки за обсягом);

- пункт "*3. Креслення (фотографії) деталей та результати одиничних вимірювань їх розмірів*". В цьому пункті необхідно надати рисунки 4.11, 4.12 з зображеннями деталей і таблиці 4.4 та 4.5 з результатами одиничних вимірювань вказаних на рисунках розмірів цих деталей;

- пункт "*4. Розрахунки характеристик результатів вимірювань розмірів деталей*". В цьому пункті необхідно надати всі розрахунки за п.п. 4.5.4.1…4.5.4.9, що виконані студентом власноруч, а також заповнені таблиці 4.6 і 4.7 з результатами цих розрахунків. Якщо розрахунки виконані за допомогою комп'ютерної програми MatCad, то надається лістинг програми з необхідними коментарями на ньому, (2…4 аркуша за обсягом);

- пункт "*5. Результати вимірювань розмірів деталей та їх порівняння з розмірами, зазначеними в робочих кресленнях деталей*". В цьому пункті необхідно надати таблицю 4.9 з результатами вимірювань розмірів деталей та їх порівняння з розмірами, зазначеними в робочих кресленнях деталей, а також всі необхідні пояснення щодо цього порівняння, (1 аркуш за обсягом);

- пункт "*6. Висновки з проведених вимірювань*".

4.7 Контрольні запитання

4.7.1 Поясніть конструкцію і принцип дії мікрометра.

4.7.2 Поясніть технічні характеристики мікрометрів типу МК і МКПТ.

4.7.3 Яким чином здійснюється зчитування результатів вимірювань (спостережень) у мікрометрів типу МК і МКПТ?

4.7.4 Яким чином і з якою метою здійснюється налагодження нульових положень у мікрометрів типу МК і МКПТ?

4.7.5 Назвіть основні правила роботи з мікрометром.

4.7.6 Як визначається сумарна основна похибка результату вимірювань в залежності від можливих співвідношень між складовими цієї похибки?

4.7.7 Яким чином основна похибка результату вимірювань залежить від заданої довірчої ймовірності і кількості вимірювань? Поясніть це фізично і на прикладах.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3
ПОВІРКА РОБОЧОГО ЗАСОБУ МЕХАНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ЗВІРЕННЯ ЗІ ЗРАЗКОВИМ ЗАСОБОМ ВИМІРЮВАНЬ. УСУНЕННЯ СИСТЕМАТИЧНОЇ ПОХИБКИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАНЬ, ЗМЕНШЕННЯ ВИПАДКОВОЇ ПОХИБКИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАНЬ

5.1 Мета лабораторної роботи

5.1.1 Вивчити спосіб повірки робочого засобу вимірювання (РЗВ) методом безпосереднього звірення зі зразковим засобом вимірювання (ЗЗВ).

5.1.2 Виконати повірку штангенциркуля ШЦ-1, або ШЦ-2, як РЗВ, методом безпосереднього звірення його результатів вимірювань (РВ) з РВ, одержаними мікрометром типу МК-25, як зразковим засобом вимірювань.

5.1.3 Набути практичних навичків з підпищення точності РВ шляхом усунення з РВ систематичної похибки засобу вимірювань (ЗВ), та зменшення його випадкової похибки.

5.2 Основні теоретичні відомості

5.2.1 Терміни та визначення. Похибки вимірювань

Згідно [3, 7, 11] приймемо наступні основні терміни та визначення.

Засіб вимірювань - технічний засіб, що використовується при вимірюваннях і має нормовані метрологічні характеристики (МХ).

Еталон - ЗВ, що забезпечує відтворення і збереження одиниці фізичної величини (ФВ) з метою передачі її розміру нижчестоящим за повірочною схемою ЗВ, офіційно затверджене у встановленому порядку.

Зразковий ЗВ (ЗЗВ) - ЗВ затверджений в якості зразкового і служить для повірки по ньому інших робочих ЗВ. Зразковий ЗВ здійснює передачу розмірів одиниці ФВ від еталона до робочих ЗВ. Загальні вимоги до ЗЗВ встановлює ДСТУ [12].

Робочий ЗВ (РЗВ) – ЗВ, що застосовується для технічних вимірювань і не зв'язаний з передачею розміру одиниці ФВ.

Повірочна схема (ПС) - затверджений у встановленому порядку документ, що встановлює засоби, методи і точність передачі розміру ФВ від еталона чи вихідного ЗЗВ до робочих ЗВ.

Міра - ЗВ, призначений для відтворення ФВ заданого розміру.

Істинне значення ФВ Q - значення ФВ, що ідеальним чином відображає в якісному і кількісному відношенні відповідну властивість об'єкта.

Дійсне значення ФВ $X_Д$ - значення ФВ, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що для даної мети може бути використане замість нього.

Загальна схема виконання вимірювань (схема вирішення вимірювальної задачі) показана на рис. 5.1, де позначено: ОВ - об'єкт вимірювань; ВВ - вимірювана величина ; ЗВ - робочий засіб вимірювань; РВ - результат вимірювань $\hat{X}$; ВпВ - величина ξ_i , що впливає на РВ; МВ - метод вимірювання.

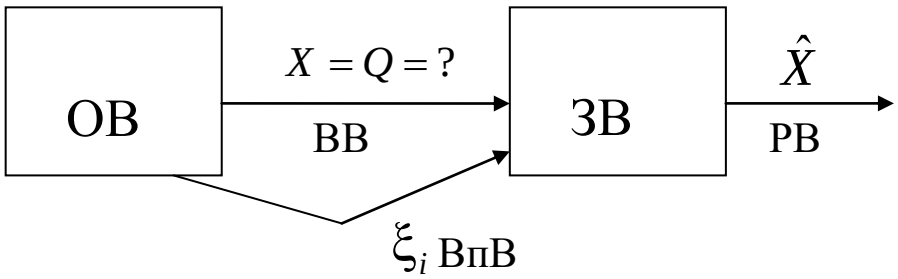


Рисунок 5.1 - Загальна схема виконання вимірювань

Класифікація похибок вимірювань (ПВ), що відповідає схемі рис. 3.1, показана на рис. 5.2.

Абсолютна похибка вимірювання Δ - різниця між результатами вимірювання (РВ) $\hat{X}$ і істинним Q , або дійсним $X_Д$, значенням ФВ.

$$\Delta = \hat{X} - Q \approx \hat{X} - X_Д, \text{[ВВ]} . \qquad (5.1)$$

Похибка вимірювання може бути виражена також у **відносному**

$$\delta = \frac{\Delta}{X}\ ,[1]\ ,\ \delta = \frac{\Delta}{X}\cdot 10^2\ ,[\%]\ ,\ \delta = \frac{\Delta}{X}\cdot 10^6\ ,[\text{ppm}], \qquad (5.2)$$

чи **приведеному**

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N}\ ,[1]\ ,\ \gamma = \frac{\Delta}{X}\cdot 10^2\ ,[\%]\ ,\ \gamma = \frac{\Delta}{X}\cdot 10^6\ ,[\text{ppm}], \qquad (5.3)$$

видах, де X - поточне значення ВВ, а X_N - нормоване значення ВВ.

Відповідно до рис. 5.1, в залежності від місця виникнення, ПВ підрозділяються на інструментальні, методичні і суб'єктивні (особливі).

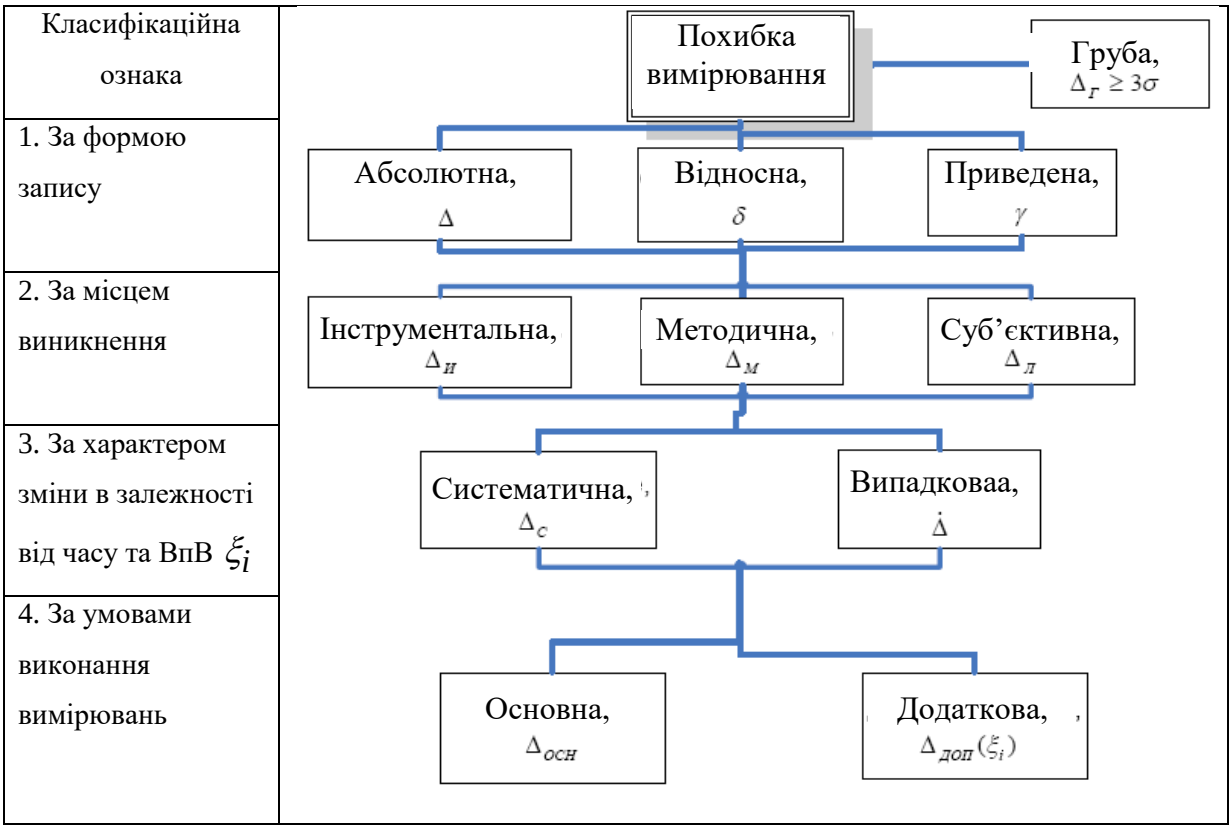


Рисунок 5.2 - Класифікація похибок вимірювань

Інструментальна ПВ (Δ_I , δ_I , γ_I) - складова ПВ, що виникає через недосконалість ЗВ.

Методична ПВ (Δ_M , δ_M , γ_M) - складова ПВ, що виникає через недосконалість методу вимірювання.

Суб'єктивна ПВ ($\Delta_Л$, $\delta_Л$, $\gamma_Л$) - обумовлена індивідуальними особливостями людини, що виконує вимірювання.

Якщо ПВ істотно перевищує очікувану за даних умов похибку, то вона називається **грубою** $\Delta_Г$ і, як правило, виключається при математичній обробці результатів вимірювань (спостережень). Грубі похибки виникають в результаті збоїв і помилок при виконанні вимірювань.

За характером зміни в залежності від часу, ВпВ ξ_i та зміни при повторних вимірюваннях теж самої ВВ у тих самих умовах ПВ поділяються на систематичні і випадкові.

Систематична ПВ (Δ_C , δ_C , γ_C) - складова ПВ, яка при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж ВВ у тих самих умовах, залишається постійною чи змінюється по відомому закону як функція часу чи ВпВ ξ_i .

Випадкова ПВ ($\tilde{\Delta}$, $\tilde{\delta}$, $\tilde{\gamma}$) - складова ПВ, яка при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж ВВ у тих самих умовах, змінюється випадковим чином.

В залежності від умов проведення вимірювань і від ВпВ ξ_i , що впливають у процесі виконання вимірювань, похибки вимірювань поділяються на основні і додаткові.

Основна ПВ ($\Delta_{ОП}$, $\delta_{ОП}$, $\gamma_{ОП}$) - складова ПВ, що виникає в нормальних умовах виконання вимірювань. Нормальні умови виконання вимірювань визначені в ДСТУ ГОСТ 8.395:2008 (температура навколишнього середовища 20ºС, атмосферний тиск $1{,}013 \cdot 10^5$ Па і т.д.).

Додаткові ПВ ($\Delta_{ДП}$, $\delta_{ДП}$, $\gamma_{ДП}$) - складові ПВ в робочих умовах виконання вимірювань, викликані відхиленням ВпВ ξ_i від нормальних значень (області значень) визначених в [11].

Додаткові похибки вимірювань, як правило, є інструментальними і систематичними. Їх нормують окремо для кожної ВпВ ξ_i у вигляді систематичних функцій впливу $\Delta_{ДП}(\xi_i)$ ВпВ ξ_i на ПВ.

На практиці інструментальні похибки засобів механічних вимірювань (штангенциркулів, мікрометрів, кінцевих мір і т.д.) часто нормують у вигляді границі допустимої похибки.

Границя допустимої похибки $\Delta_Д$ - це найбільша (без врахування знаку) похибка ЗВ, при якій він може бути визнаний придатним і допущений до застосування.

Як правило, при виконанні багаторазових ($i = \overline{1, n}$, $n \geq 10$) вимірювань деякої ВВ $X = Q$ одиничних вимірювань (спостережень) X_i і похибки цих вимірювань Δ_i розподіляються так, як показано на рис 3.3, де позначено: X_i - результат одиничного вимірювання; Δ_i - абсолютна похибка одиничного вимірювання; Δ_C - систематична складова абсолютної похибки; $\tilde{\Delta}_i$ - випадкова складова похибки одиничного вимірювання; $\hat{X}$ - результат вимірювання.

При цьому, за результат вимірювання $\hat{X}$ приймається математичне очікування M_x , як середнє арифметичне всіх результатів спостережень X_i , яке визначається за формулою

$$\hat{X} = \bar{X} = M_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \,. \tag{5.4}$$

Відповідно до рис. 5.3 складові ПВ описуються виразами:

$$\Delta_C = M_x - Q = const\,; \tag{5.5}$$

$$\tilde{\Delta}_i = X_i - M_x = \mathrm{var}\,; \tag{5.6}$$

$$Q = X_i - \Delta_i = (X_i - \Delta_C) - \tilde{\Delta}_i \,. \tag{5.7}$$

У формулі (5.7) складову

$$X_{Bi} = (X_i - \Delta_C) \tag{5.8}$$

називають **виправленим результатом** одиничного вимірювання (спостереження).

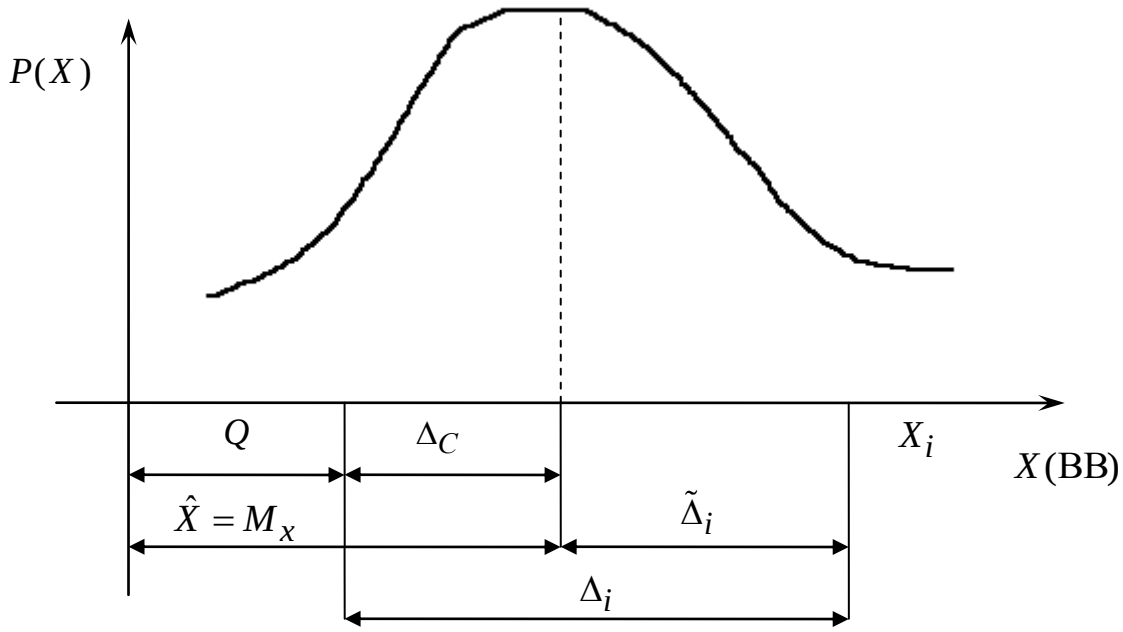


Рисунок 5.3 - Розподіл результатів і похибок вимірювань

<u>Мета такого виправлення РВ</u> - підвищення точності вимірювання шляхом виключення систематичних складових похибки. Систематичні похибки є детермінованими величинами, тому можуть бути обчислені і виключені з РВ.

Для виправлення результату спостереження X_i до нього додають **поправку** q рівну за величиною і протилежну за знаком Δ_C

$$X_{Bi} = X_i + q \ , \ q = -\Delta_C \, . \tag{5.9}$$

Поправки q визначаються експериментально, як правило, при періодичних перевірках (повірках) РЗВ. Вони задаються у вигляді чисел, таблиць, формул чи графіків, що записуються в паспорт РЗВ.

Якщо поправка q є постійною для всіх результатів спостережень X_i, то виправлений результат вимірювання визначається виразом

$$\hat{X}_B = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_{Bi} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i + q) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i + \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} q = \bar{X} + q \ . \tag{5.10}$$

Формули (5.9) і (5.10) показують, що поправку можливо додавати постійно до кожного результату спостереження X_i , або додати один раз (після математичної обробки) до невиправленого РВ $\hat{X} = \overline{X}$. Останньому надається перевага.

5.2.2 Повірка робочого ЗВ методом звірення зі зразковим ЗВ

Повірка ЗВ - це визначення метрологічним органом похибок ЗВ і встановлення його придатності до застосування. Організацію і проведення повірки ЗВ регламентує ДСТУ [12].

Розрізняють первинну, періодичну і позачергову повірку ЗВ. Найбільш важливими є періодичні повірки ЗВ в процесі їх експлуатації.

Періодична повірка ЗВ - повірка ЗВ, що періодично проводиться при його експлуатації або зберіганні через визначений термін часу. Цей визначений термін часу має назву **міжповірочний інтервал** для даного ЗВ.

Значення міжповірочного інтервалу і методика повірки ЗВ встановлюються в технічній документації (паспорті, формулярі, етикетці) на даний ЗВ.

Повірка робочих ЗВ здійснюється одним із двох методів:

– методом безпосереднього звірення результатів вимірювання робочого ЗВ, що повіряється, з результатами вимірювання зразкового ЗВ (перший метод);

– методом вимірювань робочим ЗВ, що повіряється, вимірювальних величин, відтворених зразковими мірами (другий метод).

Перший метод найбільш розповсюджений на практиці, оскільки, для кожної ВВ завжди існує більша кількість різних зразкових ЗВ, ніж зразкових мір.

Схема повірки РЗВ першим методом безпосереднього звірення результатів показана на рис. 5.4, де позначено: X_j , $j = \overline{1,m}$ - значення ВВ, яке одночасно вимірюється РЗВ і ЗЗВ; $\hat{X}_{ji}$, ($j = \overline{1,m}$, $i = \overline{1,n}$) - результат одиничного $i-го$

вимірювання (спостереження) РЗВ; $\hat{X}_{ЗРji}$, ($j=\overline{1,m}$, $i=\overline{1,n}$) - результат одиничного $i-го$ спостереження ЗЗВ.

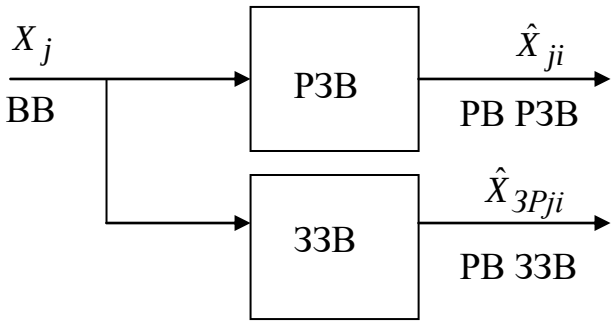


Рисунок 5.4 - Схема повірки РЗВ першим методом

Важливим, при повірці за цим методом, є питання про вибір зразкового ЗВ. При цьому повинні виконуватися наступні вимоги:

$$X_{ВП(ЗР)} \geq X_{ВП} \; ; \;\; X_{НП(ЗР)} \leq 0,25 X_{НП} \; ; \qquad (5.11)$$

$$\left|\Delta_{ЗР}\right| \leq (0,2...0,3)\left|\Delta_{Р}\right| \; ,$$

де $X_{ВП(ЗР)}$ і $X_{ВП}$ - відповідно верхні межі вимірювань зразкового ЗВ і робочого ЗВ, що провіряється; де $X_{НП(ЗР)}$ і $X_{НП}$ - нижні межі вимірювань зразкового ЗВ і робочого ЗВ; $\Delta_{ЗР}$ і $\Delta_{Р}$ - межі допустимої основної похибки зразкового ЗВ і робочого ЗВ, що провіряється.

При виконанні цих вимог у всьому діапазоні вимірювання РЗВ похибками ЗЗВ, у порівнянні з похибками РЗВ, що провіряється, можливо знехтувати і результати спостережень $\hat{X}_{ЗРji}$ (а відповідно і результати вимірювання $\hat{X}_{ЗРj}$) зразкового ЗВ можна вважати дійсними значеннями вимірюваної величини для робочого ЗВ, що повіряється

$$\hat{X}_{ЗРji} = \hat{X}_{Дji} \; , \; \hat{X}_{ЗРj} = \hat{X}_{Дj} \; , \; j=\overline{1,m} \; , \; i=\overline{1,n} \; . \qquad (5.12)$$

При повірці РЗВ для кожного значення вхідної ВВ X_j , ($j=\overline{1,m}$) , при виконанні багаторазових групових ($i=\overline{1,n}$) вимірювань, визначаються наступні метрологічні характеристики робочого і зразкового ЗВ:

- результати вимірювань $\hat{X}_j$ і дійсні значення $\hat{X}_{Дj}$ вимірюваної величини

$$\hat{X}_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_{ji} \ , \ \hat{X}_{Дj} = \hat{X}_{ЗРj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_{ЗРji} \quad ; \tag{5.13}$$

- сумарні основні похибки робочого ЗВ при одиничних спостереженнях

$$\Delta_{ji} = \hat{X}_{ji} - \hat{X}_{Дji} \ ; \tag{5.14}$$

- систематичні складові основної похибки робочого ЗВ для кожного значення вхідної ВВ X_j

$$\Delta_{Cj} = \hat{X}_j - \hat{X}_{Дj} \ \text{, або } \Delta_{Cj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta_{ji} \ ; \tag{5.15}$$

- величини поправок до РВ робочого ЗВ, що повіряється, для значень вхідної ВВ $X \approx X_j$

$$q_j = -\Delta_{Cj} \ ; \tag{5.16}$$

- середню поправку до РВ робочого ЗВ, що повіряється, (якщо передбачається використання тільки одного значення поправки незалежно від ВВ) в його діапазоні вимірювань $X_{НП} \le X \le X_{ВП}$

$$q = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} q_j \ ; \tag{5.17}$$

- виправлені результати вимірювань робочого ЗВ

$$X_{Bj} = \hat{X}_j + q_j \quad , \tag{5.18.а}$$

або

$$X_{Bj} = \hat{X}_j + q \quad ; \tag{5.18.б}$$

- виправлені сумарні основні похибки робочого ЗВ при одиничних спостереженнях

$$\Delta_{Bji} = \Delta_{ji} + q_j \ , \tag{5.19.а}$$

або $$\Delta_{Bji} = \Delta_{ji} + q \quad . \qquad (5.19.б)$$

Робочий ЗВ, який у подальшому буде застосовуватися без введення поправки до РВ, вважають таким, що пройшов повірку, якщо найбільше значення границі допустимої основної похибки одиничного спостереження (вимірювання), що розраховане за формулою (5.14) задовольняє умові

$$\left|\Delta_{ji}\right|_{\max} \le \left|\Delta_P\right| , \qquad (5.20)$$

де Δ_P - паспортне значення допустимої основної похибки робочого ЗВ, що провіряється.

Робочий ЗВ, який у подальшому буде застосовуватися з введенням поправки q до РВ, вважають таким, що пройшов повірку, якщо найбільше значення його виправленої сумарної основної похибки одиничного спостереження, що розраховане за формулою (5.19.б), задовольняє умові

$$\left|\Delta_{Bji}\right|_{\max} \le \left|\Delta_P\right| . \qquad (5.21)$$

При виконанні даної лабораторної роботи з повірки штангенциркулів ШЦ-1 або ШЦ-2 варто використовувати вирази (5.18.б) і (5.19.б). Це пов'язано з тим, що штангенциркулі ШЦ-1 і ШЦ-2, як засіби механічних вимірювань, мають постійну (не залежну від вимірюваної величини) границю допустимої основної похибки $\Delta_P = \pm 0{,}1$ мм, або $\Delta_P = \pm 0{,}05$ мм, відповідно.

5.3 Лабораторне устаткування

5.3.1 Робочі та зразкові засоби вимірювань

В даній лабораторній роботі в якості робочого ЗВ, що повіряється, використовується штангенциркуль ШЦ-1-150-0,1 або штангенциркуль ШЦ-2-150-0,05 [4].

Технічні характеристики штангенциркуля ШЦ-1:

- діапазон вимірювань ($X_{ВП}$), мм від 0 до 150;
- величина відліку по ноніусу ($X_{НП}$), мм 0,1;

- границя допустимої основної похибки (Δ_P), мм ±0,1.

Технічні характеристики штангенциркуля ШЦ-2:

- діапазон вимірювань ($X_{ВП}$), мм від 0 до 160;
- величина відліку по ноніусу ($X_{НП}$), мм 0,05;
- границя допустимої основної похибки (Δ_P), мм ±0,05.

В якості зразкового ЗВ використовується мікрометр МК-25 2-го класу точності [9].

Технічні характеристики удосконаленого мікрометра МК-25:

- діапазон вимірювання ($X_{ВП(ЗР)}$), мм від 0 до 25;
- ціна поділки ($X_{НП(ЗР)}$), мм 0,01;
- границя допустимої основної похибки ($\Delta_{ЗР}$), мм ±0,004.

Повірка штангенциркулів ШЦ-1 або ШЦ-2 методом безпосереднього звірення їх РВ з мікрометром МК-25 2-го класу точності, як зразкового ЗВ, проводиться в діапазоні вимірювань мікрометра від 0 до 25 мм.

Методика повірки штангенциркулів наведена в п. 5.5 даних методичних вказівок.

5.3.2 Опис деталі, розміри якої вимірюються при повірці РЗВ

В якості вимірювальних величин X_j , $j=\overline{1,m}$, які відповідно до першого методу повірки робочого ЗВ, одночасно вимірюються робочим ЗВ і зразковим ЗВ, використовуються три ($j=\overline{1,3}$) різних лінійних розміри деталі, робоче креслення якої показано на рис. 5.5.

Конкретні розміри, які необхідно виміряти задає викладач. Результати п'яти одиничних вимірювань ($i=\overline{1,5}$) цих розмірів робочим ЗВ X_{ji} і зразковим ЗВ $X_{ЗРji}$ повинні бути записані в таблицю 5.1.

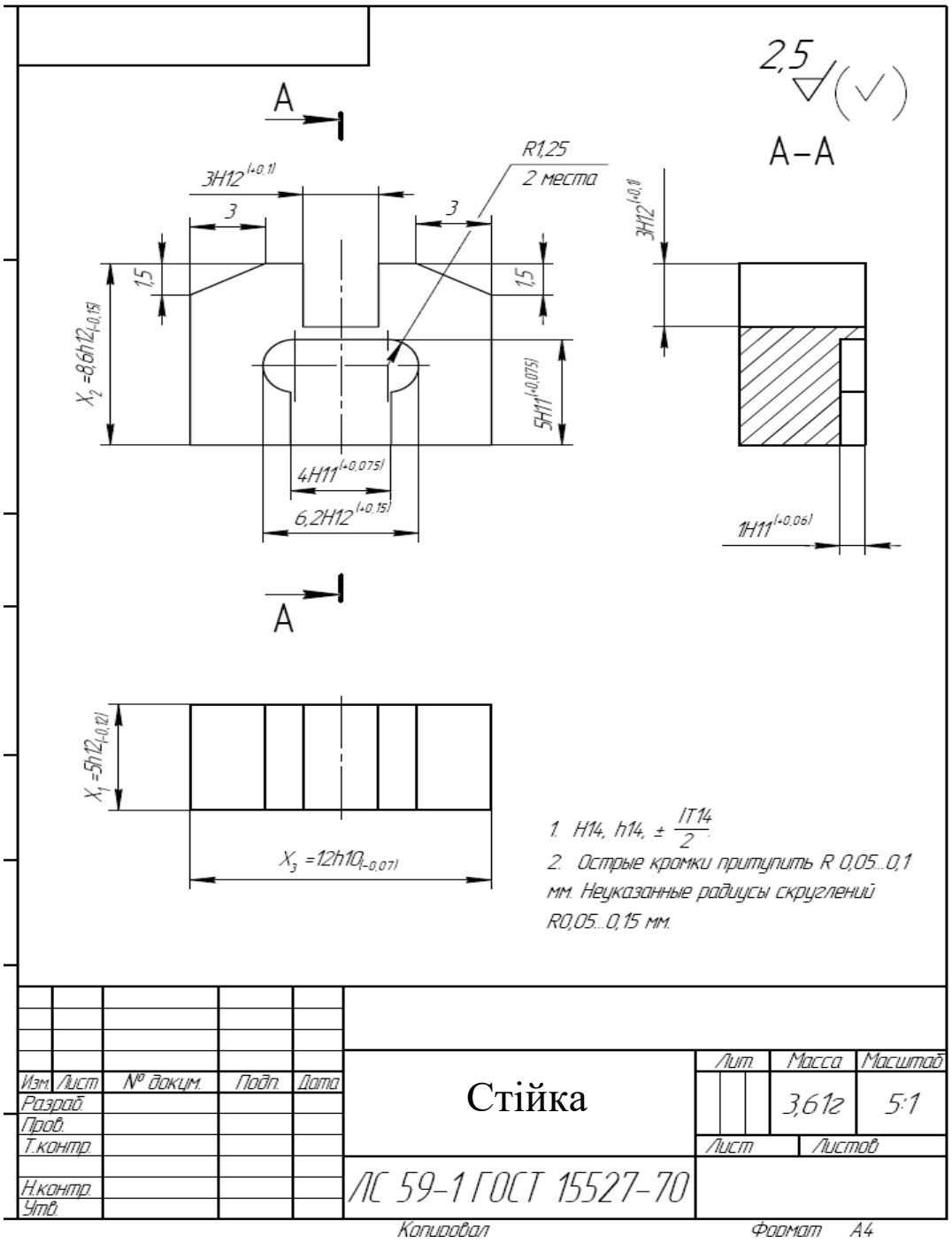


Рисунок 5.5 – Деталь, розміри якої вимірюються при повірці РЗВ

Таблиця 5.1 - Результати одиничних вимірювань h_{ji} розмірів деталі

№ вимірювання i	Результати одиничних вимірювань розмірів X_j, мм					
	$X_1 =$ _____, мм		$X_2 =$ _____, мм		$X_3 =$ _____, мм	
	X_{1i}	$X_{ЗР1i}$	X_{2i}	$X_{ЗР2i}$	X_{3i}	$X_{ЗР3i}$
1						
2						
3						
4						
5						

5.4 Підготовка до виконання лабораторної роботи

При підготовці до виконання лабораторної роботи кожен студент самостійно повинен виконати наступне:

- вивчити класифікацію похибок вимірювання, загальну схему виконання вимірювань та математичні співвідношення між РВ, похибками вимірювань і поправкою до РВ;

- вивчити види та методи повірки робочих ЗВ;

– повторити знання з принципу дії, конструкції, метрологічних характеристик і правил виконання вимірювань штангенциркулями типу ШЦ-1, ШЦ-2 і мікрометром МК-25;

- скласти алгоритм (послідовність дій) повірки штангенциркуля ШЦ-1 (ШЦ-2), як робочого ЗВ, методом безпосереднього звірення його РВ з РВ мікрометра МК-25 2-го класу точності, як зразкового ЗВ;

– вивчити ескіз деталі (п. 5.3.2). Чітко зрозуміти, які розміри вимірюються, і продумати прийоми їх вимірювань штангенциркулями типу ШЦ-1, ШЦ-2 і мікрометром МК-25;

- вивчити порядок виконання лабораторної роботи, наведений в п. 5.5;

- підготувати проект звіту (протокол) з виконання лабораторної роботи за вимогами, наведеними в п. 5.6. В проекті звіту повинні бути всі

пункти, зазначені в п. 5.6, з необхідними таблицями та чистими сторінками для відповідних розрахунків.

5.5 Порядок і рекомендації щодо виконання лабораторної роботи та обробки результатів вимірювань

Повірка штангенциркуля ШЦ-1 (ШЦ-2), як робочого ЗВ, за методом безпосереднього звірення його РВ з РВ мікрометра МК-25 2-го класу точності, як зразкового ЗВ, виконується у діапазоні вимірювання мікрометра від 0 до 25 мм.

Цю повірку кожен студент повинен виконати індивідуально в наступній послідовності.

5.5.1 Отримати допуск до виконання лабораторної роботи, відповівши на питання викладача.

5.5.2 Перевірити правильність вибору мікрометра МК-25 2-го класу точності, як зразкового ЗВ для виконання повірки, за вимогами (5.11). Результат перевірки записати в звіт з виконання лабораторної роботи.

5.5.3 Отримати у викладача деталь. Три, зазначених на кресленні рис. 5.5, різних лінійних розміри цієї деталі (задаються викладачем) вважати вимірюваними величинами X_j , $j=\overline{1,3}$, які вимірюються при перевірці.

5.5.4 Вимірити вказані в п. 5.5.3 лінійні розміри X_j , $j=\overline{1,3}$ робочим ЗВ, що повіряється, - штангенциркулем ШЦ-1, або ШЦ-2. Вимірювання кожного розміру виконати 5 разів. Результати одиничних вимірювань (далі - спостережень) X_{ji} ($j=\overline{1,3}$,$i=\overline{1,5}$) (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблицю 5.1.

5.5.5 Вимірити вказані в п. 5.5.3 лінійні розміри X_j , $j=\overline{1,3}$ зразковим ЗВ - мікрометром МК-25. Вимірювання кожного розміру виконати 5 разів. Результати одиничних спостережень $X_{ЗРji}$ ($j=\overline{1,3}$,$i=\overline{1,5}$) (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблицю 5.1.

5.5.6 Для кожного вимірюваного розміру X_j виконати математичну обробку спостережень у наступній послідовності (порядок обробки результатів вимірювань відповідає [3, 6, 7]).

5.5.6.1 Обчислити оцінки результатів вимірювань $\hat{X}_j$ робочим ЗВ, як математичне очікування результатів випадкових спостережень X_{ji} ($j=\overline{1,3}$, $i=\overline{1,5}$)

$$\hat{X}_j = M_{xj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_{ji} \quad \text{, мм.} \tag{5.22}$$

Результат розрахунку оцінок РВ $\hat{X}_j$ (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблицю 5.2.

5.5.6.2 Обчислити оцінки результатів вимірювань $\hat{X}_{ЗРj}$ зразковим ЗВ, як математичне очікування результатів випадкових спостережень $X_{ЗРji}$ ($j=\overline{1,3}$, $i=\overline{1,5}$)

$$\hat{X}_{ЗРj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_{ЗРji} \quad \text{, мм.} \tag{5.23}$$

Результат розрахунку оцінок РВ $\hat{X}_{ЗРj}$ прийняти за дійсні значення вимірюваної величини для робочого ЗВ, що повіряється,

$$\hat{X}_{ЗРji} = \hat{X}_{Дji} \tag{5.24}$$

і записати (в [мм] з точністю два знаки після коми) в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 - Результати розрахунків характеристик РВ і ПВ розмірів деталі

Характеристика РВ	Розмір X_j деталі, що вимірюється		
	X_1	X_2	X_3
$\hat{X}_j$, мм			
$\hat{X}_{Дj}$, мм			
Δ_{ji}, мм			
Δ_{Cj}, мм			
q_j, мм			
q, мм			
Виконання умови $\lvert q \rvert \le 0,5 \lvert \Delta_P \rvert$			
q^*, мм			
$\hat{X}_{Bj}$, мм			

5.5.6.3 Перевірити відсутність серед спостережень X_{ji} і X_{3Pji} промахів (грубих спостережень, які суттєво відрізняються від інших спостережень ряду), для чого:

- для ймовірних промахів X_{jl} , або X_{3Pjl} ($l-их$ РВ), з відповідних рядів спостережень розрахувати їх відхилення ν_{jl} , або ν_{3Pjl} , від відповідних МО за формулами

$$\nu_{jl} = \left| X_j - \hat{X}_j \right| , \ \nu_{3Pjl} = \left| X_{3Pjl} - \hat{X}_{Дj} \right| \text{ ,мм;} \qquad (5.25)$$

- розрахувати середньоквадратичне відхилення (СКВ) σ_{xj} , або σ_{3Pxj}, відповідних результатів спостережень X_{jl} , X_{3Pjl} з виразів

$$\sigma_{xj} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_{jl} - \hat{X}_j)^2} \ , \ , \ i = \overline{1,5} \text{ , мм,} \qquad (5.26.а)$$

$$\sigma_{3Pxj} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_{3Pjl} - \hat{X}_{3Pj})^2} \ , \ , \ i = \overline{1,5} \text{ , мм,} \qquad (5.26.б)$$

- для виконаного числа спостережень $n = 5$ і прийнятої довірчої ймовірності $P = 0,95$ визначення результату вимірювань, з таблиці Б.1 додатку Б вибрати нормоване відхилення $z(P,n)$, для якого перевірити виконання умов

$$\nu_{jl} \geq z(P,n) \cdot \sigma_{xj} \quad , \tag{5.27}$$

$$\nu_{3Pjl} \geq z(P,n) \cdot \sigma_{3Pxj} \quad ; \tag{5.28}$$

- якщо умова (5.27), або (5.28) виконується, то спостереження X_{jl} , або X_{3Pjl} , є промахом і воно повинно бути виключено з відповідного ряду спостережень.

Після виключення такого промаху необхідно для даного вимірюваного розміру X_j повторно визначити при $n = 4$ оцінки РВ $\hat{X}_j$, або $\hat{X}_{Дj}$, за формулами (5.22), або (5.23) відповідно. Результати цих повторних розрахунків записати замість попередніх в таблицю 5.2.

5.5.6.4 Розрахувати сумарні основні похибки робочого ЗВ при одиничних спостереженнях

$$\Delta_{ji} = \hat{X}_{ji} - \hat{X}_{Дji} \text{ , мм.} \tag{5.29}$$

Результат розрахунку похибок Δ_{ji} (в [мм] з точністю три знаки після коми) записати в таблицю 5.2.

5.5.6.5 Розрахувати систематичні складові основної похибки робочого ЗВ для кожного значення ВВ X_j

$$\Delta_{Cj} = \hat{X}_j - \hat{X}_{Дj} \text{ , мм.} \tag{5.30}$$

Результат розрахунку систематичних складових Δ_{Cj} похибок (в [мм] з точністю три знаки після коми) записати в таблицю 5.2.

5.5.6.6 Визначити величини поправок до РВ робочого ЗВ, що повіряється, для значень вхідної ВВ $X \approx X_j$

$$q_j = -\Delta_{Cj} \text{ , мм.} \tag{5.31}$$

Результат розрахунку систематичних поправок q_j (в [мм] з точністю три знаки після коми) записати в таблицю 5.2.

5.5.6.7 Визначити величину середньої систематичної поправки до РВ робочого ЗВ, що повіряється, в його діапазоні вимірювань $X_{НП} \le X \le X_{ВП}$

$$q = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} q_j \ . \qquad (5.32)$$

Результат розрахунку середньої систематичної поправки q (в [мм] з точністю три знаки після коми) записати в таблицю 5.2.

5.5.6.8 Перевірити необхідність введення систематичної поправки q до РВ робочого ЗВ за спрощеною умовою

$$|q| \le 0,5|\Delta_P| = 0,05\,мм \text{ - для ШЦ-1,} \qquad (5.33)$$

або

$$|q| \le 0,5|\Delta_P| = 0,025\,мм \text{ - для ШЦ-2 .} \qquad (5.34)$$

Результат перевірки виконання умови (5.33), або (5.34), у вигляді "так" чи "ні" записати в таблицю 5.2

Якщо умова (5.33) або (5.34) виконується, то вважати, що робочий ЗВ пройшов повірку і в подальшому використовуватиметься без введення поправки до його РВ.

Якщо умова (5.33) або (5.34) не виконується, то вважати, що робочий ЗВ пройшов повірку тільки за умовою, що в подальшому використовуватиметься з введенням систематичної поправки q до його РВ, яку необхідно уточнити наступним чином:

- для штангенциркуля ШЦ-1 шляхом округлення до однієї значущої цифри після коми;

- для штангенциркуля ШЦ-2 шляхом округлення до двох значущих цифр після коми.

Уточнену таким чином поправку q^* (в [мм] з відповідною точністю) записати в таблицю 5.2.

5.5.6.9 У разі $q^* \ne 0$ виправити:

- результати вимірювань робочого ЗВ за виразом

$$\hat{X}_{Bj} = \hat{X}_j + q^* \text{ , мм.} \qquad (5.35)$$

Результат розрахунку виправлених РВ $\hat{X}_{Bj}$ (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблицю 5.2.

5.5.7 Зробити висновок про результат повірки штангенциркуля ШЦ-1, або ШЦ-2, як робочого засобу вимірювань.

5.6 Зміст звіту з виконання лабораторної роботи

Звіт з виконання лабораторної роботи має містити наступні пункти:

- титульний аркуш, оформлений відповідно до вимог додатку А і підписаний студентом;

- пункт "*1. Мета лабораторної роботи*";

- пункт "*2. Короткий опис і технічні характеристики робочих ЗВ (штангенциркулів ШЦ-1 і ШЦ-2) і зразкового ЗВ (мікрометру МК-25 2-го класу точності)*", (1…2 сторінки за обсягом);

- пункт "*3. Алгоритм повірки штангенциркуля ШЦ-1 (ШЦ-2), як робочого ЗВ, за методом безпосереднього звірення його РВ з РВ мікрометра МК-25 2-го класу точності, як зразкового ЗВ*", (1…2 сторінки за обсягом);

- пункт "*4. Креслення деталі та результати одиничних вимірювань її розмірів при повірці робочого ЗВ*". В цьому пункті необхідно надати рисунок 3.5 з зображеннями деталі і таблицю 5.1 з результатами одиничних вимірювань робочим і зразковим ЗВ вказаних на рис. 5.5 розмірів деталі, (1…2 сторінки за обсягом);

- пункт "*5. Розрахунки характеристик повірки робочого ЗВ*". В цьому пункті необхідно надати всі розрахунки за п.п. 5.5.6.1…5.5.6.9, що виконані студентом власноруч, а також заповнену таблицю 5.2 з результатами цих розрахунків. Якщо розрахунки виконані за допомогою комп'ютерної програми MatCad, то надається лістинг програми з необхідними коментарями на ньому, (2…3 сторінки за обсягом);

- пункт "*6. Висновки про результат повірки штангенциркуля ШЦ-1, або ШЦ-2, як робочого ЗВ*".

5.7 Контрольні запитання

5.7.1 Поясніть класифікацію похибок вимірювань.

5.7.2 Що таке границі допустимої основної похибки ЗВ?

5.7.3 За якою формулою розраховується на практиці систематична складова абсолютної похибки вимірювань?

5.7.4 Яка мета введення поправки до результату вимірювання? Поясніть, чому це підвищує точність вимірювання тим же самим ЗВ?

5.7.5 Як визначити результат вимірювання, що містить грубу похибку?

5.7.6 Назвіть два методи повірки робочого ЗВ. Посніть їх фізичну сутність.

5.7.7 Складіть алгоритм (послідовність дій) повірки робочого ЗВ за першим методом. Які вимоги висуваються при цій повірці до зразкового ЗВ? Чому мікрометр МК-25 2-го класу точності може бути використано в якості зразкового ЗВ при повірці штангенциркулів ШЦ-1 і ШЦ-2?

5.7.8 За яким критерієм за результатами повірки робиться висновок, що робочий ЗВ можливо у подальшому застосовувати для вирішення вимірювальних задач без введення (або з введенням) поправки до його РВ?

5.7.9 Чому для робочого ЗВ типу штангенциркуля поправка до РВ визначається одним числом?

5.7.10 Якою повинна бути поправка до РВ робочого ЗВ, якщо математична модель його основної систематичної похибки має адитивну та мультиплікативну складові?

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4
ПОВІРКА РОБОЧОГО ЗАСОБУ МЕХАНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ МЕТОДОМ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ ЗРАЗКОВИХ МІР. УСУНЕННЯ СИСТЕМАТИЧНОЇ ПОХИБКИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАНЬ, ЗМЕНШЕННЯ ВИПАДКОВОЇ ПОХИБКИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАНЬ

6.1 Мета лабораторної роботи

1.1 Вивчити спосіб повірки робочого ЗВ методом прямих вимірювань зразкових мір (ЗМ).

1.2 Вивчити призначення, будову і правила плоскопаралельних кінцевих мір довжини (КМД) як зразкових мір лінійних розмірів.

1.3 Виконати повірку мікрометра МК-25 2-го класу точності, як робочого ЗВ, методом прямих вимірювань лінійних розмірів КМД як зразкових мір.

1.4 Набути практичних навичків з підпищення точності РВ шляхом усунення з РВ систематичної похибки засобу вимірювань (ЗВ), та зменшення його випадкової похибки.

6.2 Основні теоретичні відомості

6.2.1 Повірка робочого ЗВ методом прямих вимірювань зразкових мір

Схема повірки робочого ЗВ другим методом - методом прямих вимірювань зразкових мір показана на рис. 6.1, де позначено: ЗМ - зразкова міра; РЗВ - робочий засіб вимірювання, що повіряється; $X_{ЗМj}$, $j=\overline{1,m}$ - значення ВВ відтворене ЗМ, значення якого відоме і вимірюється робочим ЗВ; $\hat{X}_{ji}$, ($j=\overline{1,m}$, $i=\overline{1,n}$) - результат одиничного $i-го$ вимірювання (спостереження) РЗВ [12].

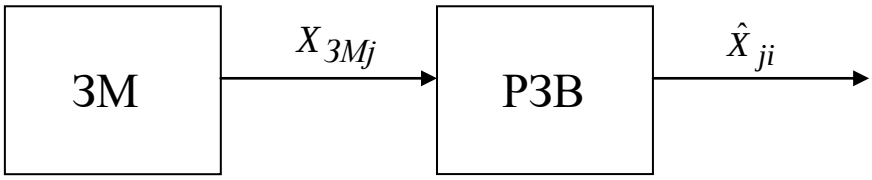


Рисунок 6.1 - Схема повірки робочого ЗВ другим методом

Важливим при повірці є питання про вибір зразкових мір. При цьому, повинні виконуватися наступні вимоги:

$$X_{Дj} \in \left[X_{НП} \div X_{ВП} \right] ; \ \left| \Delta_{ЗМ} \right| \le (0,2...0,3) \left| \Delta_P \right| \ , \qquad (6.1)$$

де $X_{НП}$ і $X_{ВП}$ - відповідно нижня і верхня межі вимірювань робочого ЗВ, що повіряється; $\Delta_{ЗМ}$ і Δ_P - межі допустимої основної похибки зразкової міри і робочого ЗВ відповідно.

При виконанні цих вимог у всьому діапазоні вимірювань робочого ЗВ похибками ЗМ, у порівнянні з похибками робочого ЗВ, що повіряється, можна зневажати і значення ВВ, відтворені ЗМ, можна вважати дійсними значеннями вимірюваної величини (ВВ) для робочого ЗВ, що повіряється

$$\hat{X}_{ЗМji} = \hat{X}_{Дji} \ , \ \hat{X}_{ЗМj} = \hat{X}_{Дj} \ , \ j = \overline{1,m} \ , \ i = \overline{1,n} \ . \qquad (6.2)$$

При повірці РЗВ для кожного значення вхідної ВВ $X_{Дj}$, ($j = \overline{1,m}$) , яке відтворюється ЗМ, при виконанні багаторазових групових ($i = \overline{1,n}$) вимірювань цієї ВВ робочим ЗВ, визначаються наступні РВ і метрологічні характеристики робочого ЗВ:

- результати вимірювань $\hat{X}_j$

$$\hat{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_{ji} \qquad ; \qquad (6.3)$$

- сумарні основні похибки робочого ЗВ при одиничних спостереженнях

$$\Delta_{ji} = \hat{X}_{ji} - \hat{X}_{Дji} \ ; \qquad (6.4)$$

- систематичні складові основної похибки робочого ЗВ для кожного значення вхідної ВВ $X_{Дj}$

$$\Delta_{Cj} = \hat{X}_j - \hat{X}_{Дj} \text{ , або } \Delta_{Cj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta_{ji} \ ; \qquad (6.5)$$

- величини поправок до РВ робочого ЗВ, що повіряється, для значень вхідної ВВ $X \approx X_{Дj}$

$$q_j = -\Delta_{Cj} \ ; \qquad (6.6)$$

- середню поправку до РВ робочого ЗВ, що повіряється, (якщо передбачається використання тільки одного значення поправки незалежно від ВВ) в його діапазоні вимірювань $X_{НП} \le X \le X_{ВП}$

$$q = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} q_j \ ; \qquad (6.7)$$

- виправлені результати вимірювань робочого ЗВ

$$X_{Bj} = \hat{X}_j + q_j \ , \qquad (6.8.а)$$

або

$$X_{Bj} = \hat{X}_j + q \ ; \qquad (6.8.б)$$

- виправлені сумарні основні похибки робочого ЗВ при одиничних спостереженнях

$$\Delta_{Bji} = \Delta_{ji} + q_j \ , \qquad (6.9.а)$$

або

$$\Delta_{Bji} = \Delta_{ji} + q \ . \qquad (6.9.б)$$

<u>Робочий ЗВ</u>, який у подальшому буде застосовуватися <u>без введення поправки до РВ</u>, вважають таким, що <u>пройшов повірку</u>, якщо найбільше значення границі допустимої основної похибки одиничного спостереження (вимірювання), що розраховане за формулою (6.4), задовольняє умові

$$\left|\Delta_{ji}\right|_{\max} \le \left|\Delta_P\right| \ , \qquad (6.10)$$

де Δ_P - паспортне значення допустимої основної похибки робочого ЗВ, що провіряється.

Робочий ЗВ, який у подальшому буде застосовуватися з введенням поправки q до РВ, вважають таким, що пройшов повірку, якщо найбільше значення його виправленої сумарні основної похибки одиничного спостереження, що розраховане за формулою (6.9.б), задовольняє умові

$$\left|\Delta_{Bji}\right|_{\max} \le \left|\Delta_P\right| . \qquad (6.11)$$

При виконанні даної лабораторної роботи з повірки мікрометра МК-25 2-го класу точності варто використовувати вирази (6.8.б) і (6.9.б). Це пов'язано з тим, що мікрометр МК-25 2-го класу точності, як засіб механічних вимірювань, має постійну (незалежну від вимірюваної величини) границю допустимої основної похибки $\Delta_P = \pm 0,004$ мм.

6.3 Лабораторне устаткування

6.3.1 Робочий засіб вимірювань, що повіряється

В даній лабораторній роботі в якості робочого ЗВ, що повіряється, використовується мікрометр МК-25 2-го класу точності [9].

Технічні характеристики мікрометра МК-25 2-го класу точності:

- діапазон вимірювання ($X_{ВП}$), мм від 0 до 25;
- ціна поділки ($X_{НП}$), мм 0,01;
- границя допустимої основної похибки (Δ_P), мм ±0,0025.

Повірка мікрометра МК-25 2-го класу точності методом прямих вимірювань лінійних розмірів КМД, як зразкових мір, проводиться в діапазоні вимірювань мікрометра від 0 до 25 мм.

Методика повірки мікрометра МК-25 наведена в п. 5.5 даних методичних вказівок.

6.3.2 Плоскопаралельні кінцеві міри довжини як зразкові міри

Плоскопаралельні КМД [13] призначені для передачі розмірів від еталона одиниці довжини до виробу, а також повірки і градуювання робочих ЗВ.

До робочих сторін КМД висувають високі вимоги по площинності, паралельності, шорсткості поверхонь і точності розміру між ними.

КМД комплектують у набори, що дозволяють складати блоки необхідних розмірів з невеликої кількості мір. Набір КМД №2, які використовується при повірці МК-25 2-го класу точності, як робочого ЗВ, показано на рис. 6.2.

Набір містить 42 кінцевих міри довжини, номінальні робочі розміри яких (в мм) показані на рис. 6.3.

Робочим розміром КМД є довжина АВ між двома її паралельними площинами (рис. 6.4). Числове значення робочого розміру кожної КМД вказано на її поверхні. При стиканні КМД ода з одною відбувається зчеплення їх поверхонь, що використовують при складанні КМД у блоки необхідних розмірів.

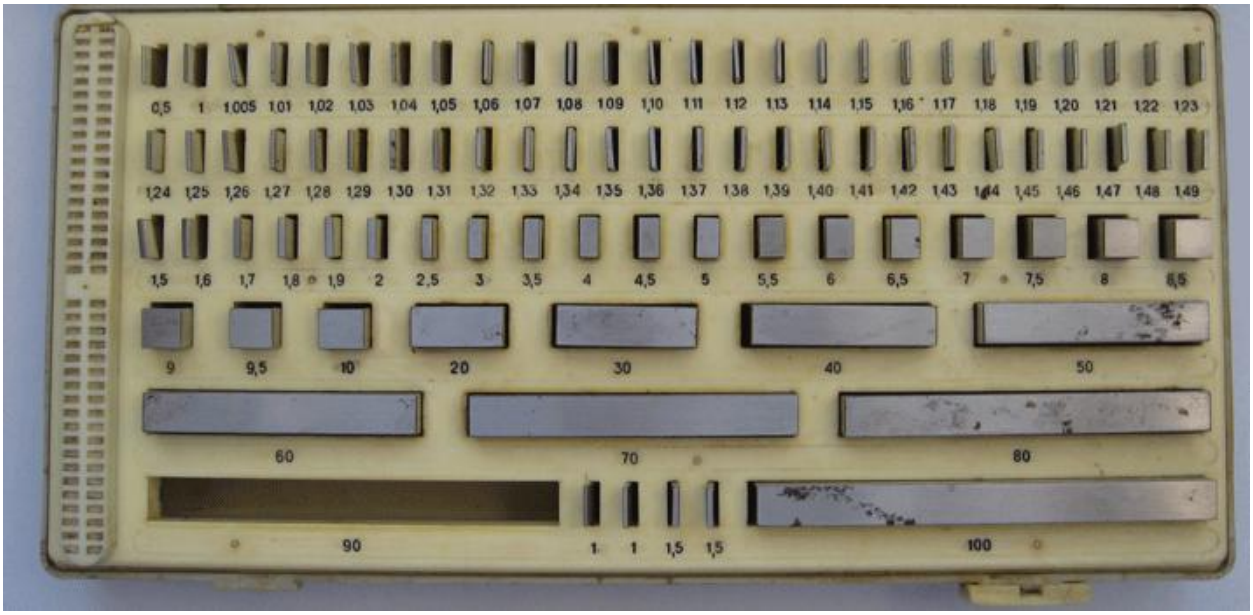


Рисунок 6.2 - Набір №2 плоскопаралельних КМД, якій використовується для повірці МК-25 2-го класу точності

Номінальні розміри, мм	Градація, мм	Кількість мір
1; 1,005	—	2
От 1,01 до 1,09	0,01	9
От 1,1 до 1,9	0,1	9
От 2 до 10	1	9
От 20 до 100	10	9
1; 1; 1,5; 1,5	Зхисні	4
		Разом: 42

Рисунок 6.3 - Номінальні розміри КМД набору №2

В залежності від величини відхилення довжини мір від номінального розміру існує п'ять класів кінцевих мір довжини: 0; 1; 2; 3; 4. При цьому, наприклад, міра класу 0 з номінальним розміром 8 мм має допустиму абсолютну похибку робочого розміру, (величину відхилення довжини) $\Delta_{ЗМ} = \pm 0{,}1$ мкм. Така ж міра класу 4 має похибку $\Delta_{ЗМ} = \pm 2$ мкм.

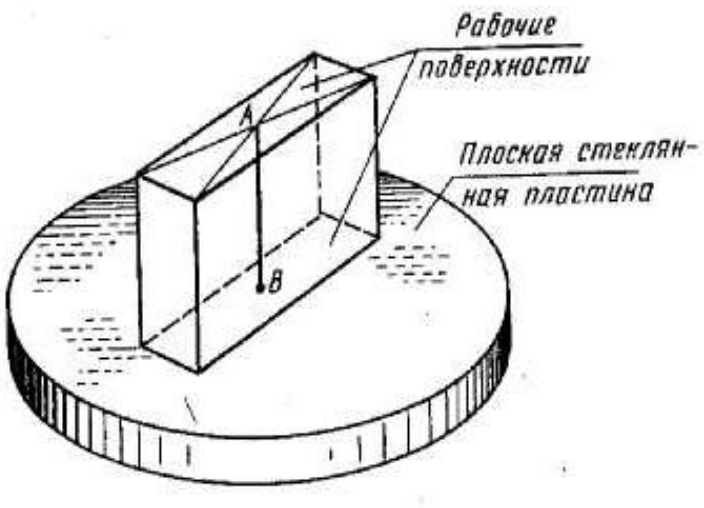


Рисунок 6.4 - Робочий розмір КМД

Відповідно до умов (6.1) за точністю для повірки мікрометра МК-25 2-го класу точності можуть бути використані КМД класу точності від 0-го до 3-го включно.

При повірці мікрометра МК-25 2-го класу точності вимірюють цим мікрометром робочі розміри КМД, а потім порівнюють його РВ з відомими розмірами цих кінцевих мір (рис. 6.5).

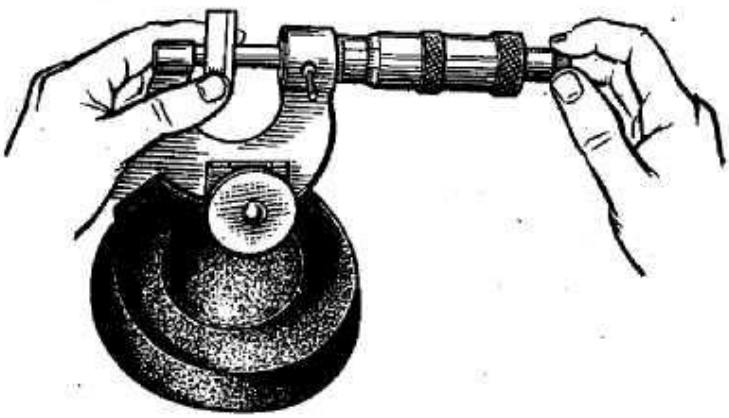


Рисунок 6.5 - Вимірювання мікрометром МК-25 робочого розміру КМД

В лабораторній роботі в якості наперед відомих вимірювальних величин $X_{ЗМj}$, $j=\overline{1,m}$ (рис. 6.1), які відповідно до другого методу повірки робочого ЗВ, вимірюються робочим ЗВ - мікрометром МК-25 2-го класу точності, використовуються три ($j=\overline{1,3}$) різних наперед відомих лінійних розміри, зформованих з робочих розмірів КМД.

Конкретні КМД, розміри якіх необхідно виміряти, визначає викладач. Номінальні значення цих розмірів $X_{ЗМj}$ і результати п'яти одиничних вимірювань ($i=\overline{1,5}$) цих розмірів робочим ЗВ X_{ji} повинні бути записані в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 - Результати одиничних вимірювань X_{ji} розмірів ЗМ $X_{ЗМj}$

№ вимірювання i	Результати одиничних вимірювань розмірів $X_{ЗМj}$, мм		
	$X_{ЗМ1}$ = ____, мм	$X_{ЗМ2}$ = ____, мм	$X_{ЗМ3}$ = ____, мм
	X_{1i}	X_{2i}	X_{3i}
1			
2			
3			
4			
5			

6.4 Підготовка до виконання лабораторної роботи

При підготовці до виконання лабораторної роботи кожен студент самостійно повинен виконати наступне:

- повторити, за матеріалами п. 5.2 лабораторної роботи №3, класифікацію похибок вимірювання, загальну схему виконання вимірювань та математичні співвідношення між РВ, похибками вимірювань і поправкою до РВ, види та методи повірки робочих ЗВ;

– повторити знання з принципу дії, конструкції, метрологічних характеристик і правил виконання вимірювань мікрометром МК-25;

- скласти алгоритм (послідовність дій) повірки мікрометра МК-25 2-го класу точності, як робочого ЗВ, методом прямих вимірювань лінійних розмірів КМД, як зразкових мір;

– вивчити склад набору КМД №2, якій використовується для повірки МК-25 2-го класу точності. Чітко зрозуміти, які розміри вимірюються, і продумати прийоми їх вимірювань мікрометром МК-25;

- вивчити порядок виконання лабораторної роботи, наведений в п. 6.5;

- підготувати проект звіту (протокол) з виконання лабораторної роботи за вимогами наведеними в п. 6.6. В проекті звіту повинні бути всі

пункти, зазначені в п. 6.6, з необхідними таблицями та чистими сторінками для відповідних розрахунків.

6.5 Порядок і рекомендації щодо виконання лабораторної роботи та обробки результатів вимірювань

Повірка мікрометра МК-25 2-го класу точності, як робочого ЗВ, методом прямих вимірювань лінійних розмірів КМД, як зразкових мір, проводиться в діапазоні вимірювань мікрометра від 0 до 25 мм.

Цю повірку кожен студент повинен виконати індивідуально в наступній послідовності.

6.5.1 Отримати допуск до виконання лабораторної роботи, відповівши на питання викладача.

6.5.2 Перевірити правильність вибору КМД, як зразкових мір, для виконання повірки за вимогами (4.1). Результат перевірки записати в звіт з виконання лабораторної роботи.

6.5.3 Перевірити встановлення нульового відліку шкал мікрометра, при необхідності виконати настроювання на нуль мікрометра шляхом, вказаним в його паспорті.

6.5.4 Отримати у викладача КМД та номінальні значення трьох їх розмірів X_j ($j=\overline{1,3}$), які при повірці будуть наперед відомими вимірювальними величинами X_{3Mj}. Числові значення цих розмірів X_j ($j=\overline{1,3}$) (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблицю 6.1.

6.5.5 Вимірити вказані в п. 6.4 лінійні розміри X_{3Mj}, $j=\overline{1,3}$ робочим ЗВ, що повіряється, - мікрометром МК-25 2-го класу точності. Вимірювання кожного розміру виконати 5 разів. Результати одиничних вимірювань (далі - спостережень) X_{ji} ($j=\overline{1,3}$, $i=\overline{1,5}$) (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблицю 6.1.

6.5.6 Для кожного вимірюваного розміру X_j виконати математичну обробку спостережень у наступній послідовності (порядок обробки результатів вимірювань відповідає [3, 6, 7]).

6.5.6.1 Обчислити оцінки результатів вимірювань $\hat{X}_j$ робочим ЗВ, як математичне очікування результатів випадкових спостережень X_{ji} ($j=\overline{1,3}$, $i=\overline{1,5}$)

$$\hat{X}_j = M_{xj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_{ji} \quad \text{, мм.} \tag{6.12}$$

Результат розрахунку оцінок РВ $\hat{X}_j$ (в [мм] з точністю три знаки після коми) записати в таблицю 6.2.

6.5.6.2 Прийняти вказані в таблиці 3.1 розміри КМД X_{3Mj}, $j=\overline{1,3}$ за дійсні значення вимірюваної величини для робочого ЗВ, що провіряється,

$$\hat{X}_{3Pji} = \hat{X}_{Дji} \tag{6.13}$$

і записати (в [мм] з точністю три знаки після коми) в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 - Результати розрахунків характеристик РВ і ПВ розмірів X_{3Mj}

Характеристика РВ	Розмір X_j деталі, що вимірюється		
	X_{1M1}	X_{2M2}	X_{3M3}
$\hat{X}_j$, мм			
$\hat{X}_{Дj}$, мм			
Δ_{ji}, мм			
Δ_{Cj}, мм			
q_j, мм			
q, мм			
Виконання умови $\lvert q\rvert \le 0,5\lvert\Delta_P\rvert$			
q^*, мм			
$\hat{X}_{Bj}$, мм			

6.5.6.3 Перевірити відсутність серед спостережень X_{ji} промахів (грубих спостережень, які суттєво відрізняються від інших спостережень ряду), для чого:

- для ймовірних промахів X_{jl} ($l-ux$ РВ) з відповідного ряду спостережень розрахувати їх відхилення v_{jl} від відповідного МО за формулою

$$v_{jl} = \left| X_j - \hat{X}_j \right| \text{, мм;} \tag{6.14}$$

- розрахувати середньоквадратичне відхилення (СКВ) σ_{xj} відповідних результатів спостережень X_{jl} з виразу

$$\sigma_{xj} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_{jl} - \hat{X}_j)^2} \text{ , } i = \overline{1,5} \text{ , мм,} \tag{6.15}$$

- для виконаного числа спостережень $n = 5$ і прийнятої довірчої ймовірності $P = 0,95$ визначення результату вимірювань, з таблиці Б.1 додатку Б вибрати нормоване відхилення $z(P,n)$, для якого перевірити виконання умови

$$v_{jl} \geq z(P,n) \cdot \sigma_{xj} \text{ ,} \tag{6.16}$$

якщо умова (6.16) виконується, то спостереження X_{jl} є промахом і воно повинно бути виключене з ряду спостережень.

Після виключення такого промаху необхідно для даного вимірюваного розміру X_j повторно визначити при $n = 4$ оцінки РВ $\hat{X}_j$ за формулою (6.12). Результати цього повторного розрахунку записати замість попереднього в таблицю 6.2.

6.5.6.4 Розрахувати сумарні основні похибки робочого ЗВ при одиничних спостереженнях

$$\Delta_{ji} = \hat{X}_{ji} - \hat{X}_{Дji} \text{ , мм.} \tag{6.17}$$

Результат розрахунку похибок Δ_{ji} записати (в [мм] з точністю три знаки після коми) в таблицю 6.2.

6.5.6.5 Розрахувати систематичні складові основної похибки робочого ЗВ для кожного значення вхідної ВВ X_j

$$\Delta_{Cj} = \hat{X}_j - \hat{X}_{Дj} \text{ , мм.} \tag{6.18}$$

Результат розрахунку систематичних складових Δ_{Cj} похибок записати (в [мм] з точністю три знаки після коми) в таблицю 6.2.

6.5.6.6 Визначити величини поправок до РВ робочого ЗВ, що повіряється, для значень вхідної ВВ $X \approx X_{ЗМj}$

$$q_j = -\Delta_{Cj} \text{ , мм.} \tag{6.19}$$

Результат розрахунку систематичних поправок q_j записати (в [мм] з точністю три знаки після коми) в таблицю 6.2.

6.5.6.7 Визначити величину середньої систематичної поправки до РВ робочого ЗВ, що повіряється, в його діапазоні вимірювань $X_{НП} \le X \le X_{ВП}$

$$q = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} q_j \ . \tag{6.20}$$

Результат розрахунку середньої систематичної поправки q (в [мм] з точністю три знаки після коми) записати в таблицю 6.2.

6.5.6.8 Перевірити необхідність введення систематичної поправки q до РВ робочого ЗВ за спрощеною умовою

$$|q| \le 0,5|\Delta_P| = 0,002\,мм \ . \tag{6.21}$$

Результат перевірки виконання умови (6.21) у вигляді "так", чи "ні" записати в таблицю 6.2.

<u>Якщо умова (6.21) виконується</u>, то вважати, що <u>робочий ЗВ пройшов повірку</u> і у подальшому використовуватиметься <u>без введення поправки</u> до його РВ.

Якщо умова (6.21) не виконується, то вважати, що робочий ЗВ пройшов повірку тільки за умовою, що у подальшому використовуватиметься з введенням систематичної поправки q до його РВ, яку необхідно уточнити шляхом округлення до двох значущих цифр після коми.

Уточнену таким чином поправку q^* (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблицю 6.2.

6.5.6.9 Визначену у п. 6.5.6.7. поправку q^* (в [мм] з точністю два знаки після коми) встановити для всіх наступних вимірювань цим мікрометром шляхом переміщення нульового відліку шкал мікрометра на величину цієї поправки, як вказано в інструкції з експлуатації мікрометра МК-25.

6.5.6.10 У разі $q^* \neq 0$ виправити:

- результати вимірювань робочого ЗВ за виразом

$$\hat{X}_{Bj} = \hat{X}_j + q^* \text{ , мм.} \tag{6.22}$$

Результат розрахунку виправлених РВ $\hat{X}_{Bj}$ (в [мм] з точністю два знаки після коми) записати в таблицю 6.2.

6.5.7 Зробити висновок про результат повірки мікрометра МК-25 2-го класу точності, як робочого засобу вимірювань.

6.6 Зміст звіту з виконання лабораторної роботи

Звіт з виконання лабораторної роботи має містити наступні пункти:

- титульний аркуш, оформлений відповідно до вимог додатку А і підписаний студентом;

- пункт "*1. Мета лабораторної роботи*";

- пункт "*2. Короткий опис і технічні характеристики робочого ЗВ - мікрометра МК-25 2-го класу точності і зразкових мір - набору №2 кінцевих мір довжини*", (1…2 сторінки за обсягом);

- пункт "*3. Алгоритм повірки мікрометра МК-25 2-го класу точності, як робочого ЗВ, методом прямих вимірювань лінійних розмірів КМД, як зразкових мір*", (1…2 сторінки за обсягом);

- пункт "*4. Результати одиничних вимірювань розмірів зразкових мір при повірці робочого ЗВ*". В цьому пункті необхідно надати таблицю 6.1 з результатами одиничних вимірювань робочим ЗВ вказаних викладачем розмірів КМД, ;

- пункт "*5. Розрахунки характеристик повірки робочого ЗВ*". В цьому пункті необхідно надати всі розрахунки за п.п. 6.5.6.1…6.5.6.10, що виконані студентом власноруч, а також заповнену таблицю 6.2 з результатами цих розрахунків. Якщо розрахунки виконані за допомогою комп'ютерної програми MatCad, то надається лістинг програми з необхідними коментарями на ньому, (1…3 сторінки за обсягом);

- пункт "*6. Висновки про результат повірки мікрометра МК-25 2-го класу точності, як робочого ЗВ*".

6.7 Контрольні запитання

6.7.1 Яка мета введення поправки до результату вимірювання? Поясніть чому це підвищує точність вимірювання тим же самим ЗВ?

6.7.2 Як визначити результат вимірювання, що містить грубу похибку?

6.7.3 Назвіть два методи повірки робочого ЗВ. Посніть їх фізичну сутність, порівняйте їх між собою. Які переваги і недоліки кожного з них?

6.7.4 Складіть алгоритм (послідовність дій) повірки робочого ЗВ за другим методом. Які вимоги висуваються при цій повірці до зразкових мір? Чому КМД класу точності від 0-го до 3-го включно можуть бути використані в якості зразкових мір при повірці мікрометра МК-25 2-го класу точності?

6.7.5 За яким критерієм за результатами повірки робиться висновок, що робочий ЗВ можливо у подальшому застосовувати для вирішення вимірювальних задач без введення (або з введенням) поправки до його РВ?

6.7.6 Чому для робочого ЗВ типу штангенциркуля поправка до РВ визначається одним числом?

6.7.7 Яким чином, визначена при повірці мікрометра постійна поправка, може бути додана до РВ мікрометра не математично, а фізично (приладово).

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT). Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції. Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики. – Київ: Дежспоживстандарт України, 2018 – 18с. Режим доступу - http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=80498 .

2. Каталог продукції компанії МІКРОТЕХ. Штангенціркулі аналогові ШЦ-1-150 мм (ТУ У 33.2-30291682-001-2004). [електронний ресурс]. Режим доступу - https://microtech.ua/download/pdf/MICROTECH-catalog-60.pdf?_gl=1*1bhksfr*_ga*NTA5MzYxOTU5LjE2NDk0MjczOTc.*_ga_NJ3PSERF4D*MTY0OTQyNzM5Ny4xLjEuMTY0OTQyNzQxMy40NA.

3. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дороговець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик; За ред. Б. Стадника. – Львів: вид-во НУ "Львівська політехніка", 2005. – 357с.

4. Каталог продукції компанії JOBI. Вимірювання, штангенціркулі 150 мм. [електронний ресурс]. Режим доступу – https://www.jbmcamp.com/ru/products/shtangentsirkul-150mm-50937 .

5. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT; EN ISO/IEC 17025:2017, IDT). Режим доступу - https://www.ipkm.org.ua/analiz-vimog-2-dstu-iso-iec-17025-2 .

6. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008. Прямі вимірювання з багаторазовими спостереженнями. Методи обробляння результатів спостережень. Основні положення. – Київ: Дежспоживстандарт України, 2008 – 27с.

7. Конспект лекцій з освітнього компоненту «Вимірювання та стандартизація в авіоніці» за освітньо-професійною програмою «Системи керування літальними апаратами та комплексами» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти/ М.Г. Черняк – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021 – 180 с. Режим доступу - https://do.ipo.kpi.ua/course/view.php?id=2645 .

8. ISO9001:2018. Аналоговий мікрометр МК оснащений мікрогвинтом з дискретністю 0,01мм та діапазоном 0-25мм.

9. Каталог продукції компанії МІКРОТЕХ. Мікрометри гладкі МК-25 0-25мм (ТУ У 33.2-30291682-001-2004).

Режим доступу - https://microtech.ua/download/pdf/MICROTECH-catalog-60.pdf?_gl=1*1bhksfr*_ga*NTA5MzYxOTU5LjE2NDk0MjczOTc.*_ga_NJ3PSERF4D*MTY0OTQyNzM5Ny4xLjEuMTY0OTQyNzQxMy40NA .

10. Каталог продукції компанії МІКРОТЕХ. Мікрометри гладкі МКПТ-25 0-25мм (ТУ У 33.2-30291682-001-2004).

Режим доступу - https://microtech.ua/download/pdf/MICROTECH-catalog-60.pdf?_gl=1*1bhksfr*_ga*NTA5MzYxOTU5LjE2NDk0MjczOTc.*_ga_NJ3PSERF4D*MTY0OTQyNzM5Ny4xLjEuMTY0OTQyNzQxMy40NA .

11. ДСТУ2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. – Київ: Дежспоживстандарт України, 1994 – 68с. Режим доступу - http://dtp.lg.ua/Dokumentacija%20i%20oformlenie/DSTU_2681-94_metrologiya._terminy_i_opredeleniya.pdf .

12. ДСТУ 2708-2006 Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. Київ. Держспоживстандарт України , 2006 – 14с.

Режим доступу - https://dnaop.com/html/61543/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2708_2006.

13. ДСТУ ISO 3650:2009 Вимоги до геометричних розмірів виробів. Еталони довжини. Кінцеві міри (ISO 3650:1998, IDT). Київ. Держспоживстандарт України , 2006 – 18с. Режим доступу – http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=91108.

ДОДАТКИ

Додаток А

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій

Кафедра систем керування літальними апаратами

Освітня компонента “ ВИМІРЮВАННЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ В АВІОНІЦІ”
(або)

ЗВІТ
про виконання лабораторної роботи №____
" _____"
(назва лабораторної роботи)

Виконав:
студент групи АС-____ НН ІАТ

_____ /_____/
(підпис) (П.І.Б.)

Зараховано з оцінкою:
_____ ,

викладач_____ /_Микола ЧЕРНЯК_/
(підпис) (П.І.Б.)

"____" _____ 202_ р.

Київ – 202__

Додаток Б

Таблиця Б.1 - Значення нормованого відхилення $z(P,n)$

n	Значення $z(P,n)$ при P , рівній		
	0,90	0,95	0,997
3	1,412	1,414	1,414
4	1,689	1,710	1,728
5	1,869	1,917	1,972
6	1,996	2,067	2,161
7	2,093	2,182	2,310

Таблиця Б.2 - Значення коефіцієнта Стьюдента t_p

n	Значення $t_p(n)$ при P , рівній			
	0,70	0,90	0,95	0,997
2	1,963	6,314	12,706	212,2
3	1,386	2,920	4,303	18,216
4	1,250	2,353	3,182	8,891
5	1,190	2,132	2,776	6,435
6	1,156	2,015	2,571	5,376
7	1.134	1,943	2,447	4,800
8	1,119	1,895	2,365	4,442
9	1,108	1,860	2,306	4,199
10	1,100	1,833	2,262	4,024