

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський національний технологічний університет

Кафедра геодезії, картографії та землеустрою

Метрологія і стандартизація

Методичні вказівки

до практичних занять для студентів

бакалаврського рівня вищої освіти «Архітектура та будівництво»,

спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Розглянуто та схвалено

*на засіданні кафедри
геодезії, картографії та землеустрою
протокол № 5*

від «29 » листопада 2018р.

Чернігів – 2018р.

Метрологія і стандартизація Методичні вказівки до практичних занять для студентів бакалаврського рівня вищої освіти «Архітектура та будівництво», спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій». Укладачі: Терещук О.І. , Сахно Є.Ю., Дорош М.С., Ітченко Д.М. – Чернігів, ЧНТУ. – 2018. – 59с.

Укладачі: Терещук О.І., директор ННІБ, к.т.н., професор кафедри геодезії, картографії і землеустрою;
Сахно Є.Ю., д.т.н., професор кафедри геодезії, картографії і землеустрою;
Дорош М.С., д.т.н., професор кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії
Ітченко Д.М., к.т.н., доцент кафедри публічного управління та менеджменту організацій

Рецензент: Професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, доктор геологічних наук, професор В.А. Іванішин.

Відповідальний за випуск: Корнієнко І.В., к.т.н., завідувач кафедри геодезії, картографії і землеустрою

ЗМІСТ

Загальні рекомендації	4
Практична робота №1. Прямі вимірювання лінійних розмірів	5
Практична робота №2. Дослідження вимірювання похибки лабораторних ваг	12
Практична робота № 3. Визначення класу точності засобів вимірювання	18
Практична робота № 4. Дослідження нормованих метрологічних характеристик	26
Практична робота №5. Дослідження похибок в результатах вимірювань фізичних величин методом найменших квадратів.....	33
Практична робота №6. Визначення густини твердих тіл методом гідростатичного зважування	38
Практична робота №7. Визначення параметрів шорсткості поверхні	42
Практична робота №8. Класифікація та аналіз знаків відповідності у міжнародних системах сертифікації.....	46
Рекомендована література	52
Додатки	54

ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Метою практичних робіт з курсу „Метрологія і стандартизація” є ознайомлення студентів з основними поняттями і визначеннями в галузі метрологічного забезпечення, закріплення теоретичного матеріалу з дослідження методів визначення похибок, методу збігу вимірювання розмірів виробів або окремих їх елементів, дослідження нормованих метрологічних характеристик різних приладів, класу точності засобу вимірювання, помилок в результатах вимірювань фізичних величин.

Перед початком практичних робіт викладач проводить інструктаж щодо загальних правил безпеки, прийомів роботи з приладами й установками, заходів пожежної профілактики. У процесі роботи студенти повинні строго дотримуватись цих методичних рекомендацій, виконувати роботу під контролем викладача. В описі кожної практичної роботи згідно з методичними вказівками наводяться: мета дослідження, необхідні теоретичні відомості по даним практичним роботам, характеристики застосовуваних установок і приладів, методика проведення роботи й оформлення результатів.

Перед виконанням роботи студенти готують звіти по практичним роботам, а в процесі проведення – їх заповнюють та оформлюють після закінчення. Приблизна структура звіту по практичній роботі:

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Прилади та обладнання (із ілюстраціями та поясненнями).
4. Протоколи результатів досліджень (заповнюють при проведенні роботи).
5. Допоміжні відомості (застосовані формули, розрахунки, тощо).
6. Висновок.

Без попередньо заготовленого звіту студенти до практичної роботи не допускаються, тому що в процесі роботи їм потребується заповнювати протоколи вимірювань.

По кожній роботі студент відповідає на контрольні питання й одержує диференційовану оцінку. Студенти, що протягом семестру не були присутні на практичних роботах, зобов'язані наприкінці семестру відробити пропущені заняття і захистити їх викладачу.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

ПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ

МЕТА РОБОТИ: провести прямі виміри лінійних розмірів циліндричного стержня за допомогою інструментів, що мають різну точність, переконатися в його циліндричності, вказати межі, у яких приймається дане твердження, навчитися працювати з інструментами для лінійних вимірювань.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

При проведенні лінійних вимірювань необхідно розуміти, у якому інтервалі значень знаходяться досліджувані довжини. Вимірювання довжини (відстані) у діапазоні від 10^{-8} до 10^{11} м вимагає використання абсолютно різних методів і засобів вимірювань. У даній роботі будемо досліджувати ту область довжин, де застосовані повсякденні уявлення. Навіть обмеживши себе вимірюваннями довжин в інтервалі від 1 мкм до 1 м, ми зштовхнемося з вибором цілого ряду приладів. До рішення питання, яким з них скористатися, варто підходити з урахуванням наступного:

а) яка природа довжини, що ми хочемо вимірювати; приміром, може бути відстань між двома мітками або між кінцями стержня або бруска або діаметр отвору чи стержня;

б) яка приблизно ця довжина,

в) яка необхідна точність вимірювань.

У таблиці 1.1 приведені кілька можливих засобів і методів вимірювань довжини в розглянутому інтервалі значень.

На вимірювальних лінійках довжина розподілів збігається з ціною одного розподілу і звичайно дорівнює 1 мм. Якщо при вимірюванні довжини якого-небудь предмета його край розташовується між сусідніми розподілами лінійки (більше a мм і менше $a + 1$ мм), то можна подумки розділити 1 мм на 10 частин і оцінити «на око», скільки таких частин займає надлишок довжини. Таким способом вимірюють довжини з точністю до 0,1 мм, однак надійна оцінка досягається тільки з досвідом, тому в загальному випадку точність вимірювального інструмента відповідає половині мінімального розподілу.

Таблиця 1.1

Прилад	Межа вимірювань, м	Точність, мкм	Характер застосування
Вимірювальна лінійка (дерев'яна)	0,5	1000	Загальний. Використовуються при дуже грубих наближених вимірюваннях.
Вимірювальна лінійка (металева)	1,0	200	Загальний.
Штангенциркуль (з величиною відліку за ноніусом 0,1 мм)	0,3	50	Для вимірювань зовнішніх розмірів предметів, ширини зазору, діаметра отвору, для вимірювань глибин.
Штангенциркуль (з величиною відліку за ноніусом 0,05 мм)	0,3	20	
Мікрометр	0,1	5	Вимірювання зовнішніх розмірів.

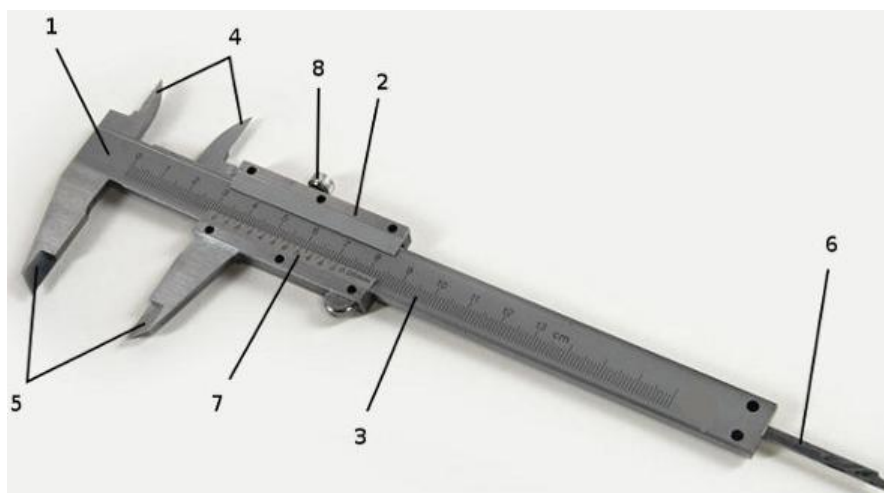


Рис. 1.1. Штангенциркуль:

1- штанга, 2 – рухлива рамка, 3 - шкала штанги, 4- губки для внутрішніх вимірювань, 5 – губки для зовнішніх вимірювань, 6 – лінійка для вимірювання глибин, 7- ноніус, 8 - затиск рамки

Ціле число міліметрів у штангенциркуля відраховується по шкалі штанги зліва направо нульовим штрихом ноніуса. Ноніус призначений для визначення дробової величини ціни розподілу штанги, тобто для визначення частки міліметра. На ноніусі нанесене деяке число розподілів – n ; ціна розподілу ноніуса l_n знаходиться у визначеному відношенні до

ціни розподілу шкали штанги l_m ; звичайно загальна довжина всіх n розподілів ноніуса дорівнює довжині $n - 1$ роз- поділів шкали штанги;

$$l_n \cdot n = l_m \cdot (n - 1), \quad l_m - l_n = \frac{l_m}{n}, \quad (1.1)$$

З другого виразу знаходимо різницю між довжиною одного розподілу шкали штанги й одного розподілу ноніуса

Формула (1.1) дає вираження точності ноніуса. Застосовуються штангенциркулі з різною точністю (яка зазвичай показується на приладі): 1) з ноніусом довжиною 19 мм, розділеним на 10 частин, для якого при $l_m = 1$ мм точність дорівнює 0,1 мм;(рис. 1.2.).



Рис. 1.2. Штангенциркуль ноніусом довжиною 19 мм.

2) з ноніусом довжиною 39 мм, розділеним на 20 частин, для якого при $l_m = 1$ мм точність дорівнює 0,05 мм; ;(рис. 1.3.).

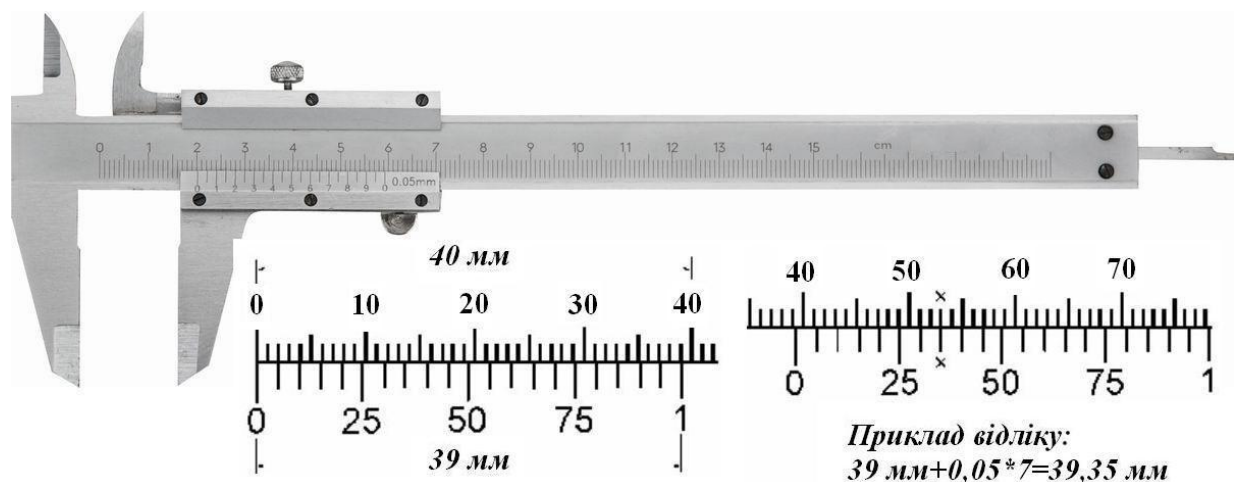


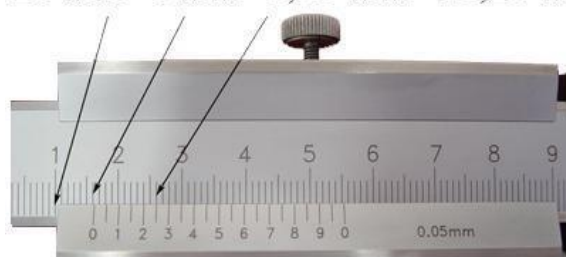
Рис. 1.3. Штангенциркуль з ноніусом довжиною 39 мм

3) з ноніусом довжиною 49 мм, розділеним на 50 частин, для якого при $l_m = 1$ мм точність дорівнює 0,02 мм;



а)

$$10 \text{ мм} + 6 \text{ мм} + 0,25 \text{ мм} = 16,25 \text{ мм}$$



б)

Рис. 1.4. Штангенциркуль з ноніусом довжиною 49 мм. а) загальний вид; б) шкала приладу

Читання показань на штангенциркулі з певною величиною відліку здійснюється в такий спосіб: ціле число міліметрів відраховується по шкалі штанги зліва направо нульовим штрихом ноніуса; дробова величина (кількість десятих часток міліметра) визначається множенням величини відліку на порядковий номер штриха ноніуса (не вважаючи нульового), що збігається зі штрихом штанги. На рис. б) показаний приклад відліку для штангенциркуля з величиною відліку 0,05 мм: ціле число міліметрів 16, збігається 5-ий штрих ноніуса, тому лінійний розмір 16,25 мм.

Мікрометр дозволяє вимірювати зовнішні розміри твердих тіл з точністю до 0,01 мм. Зовнішній вигляд мікрометра наведено на рис. 1.5.

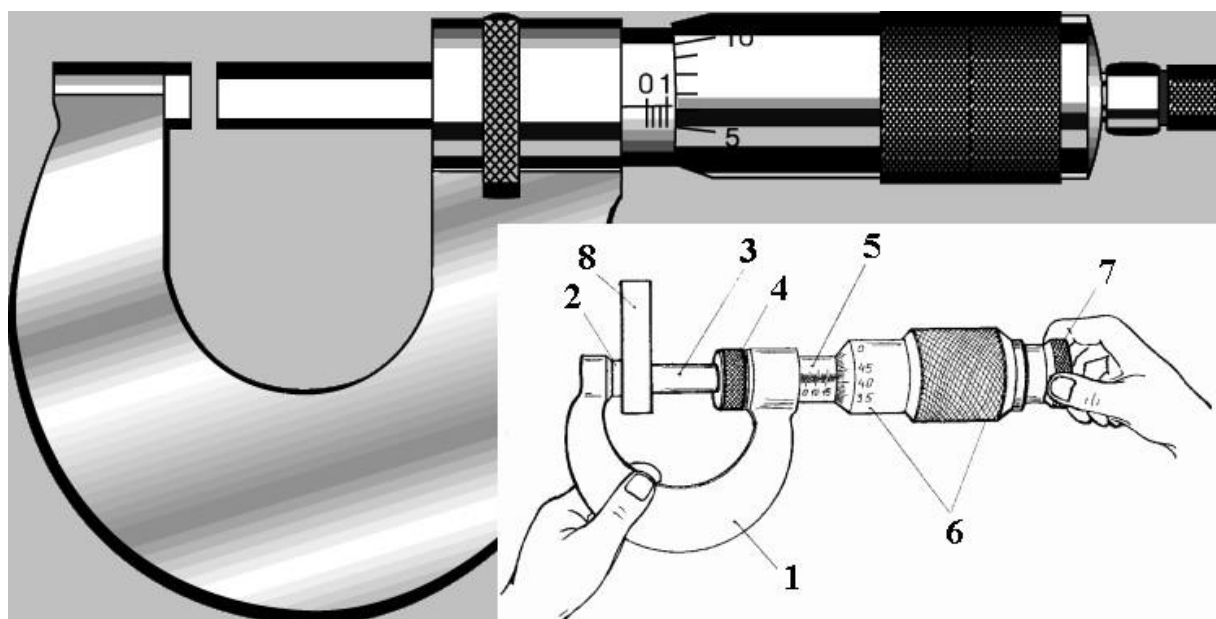


Рис. 1.5. Загальний вид мікрометра:

1 – скоба, 2 - п'ятка, 3 – мікрометричний гвинт, 4 – стопор, 5 – стебло, 6 – барабан, 7 – тріскачка, 8 – деталь, розмір якої вимірюється

Для вимірювань тверде тіло розміщується у вимірювальну частину приладу де затискається за допомоги мікрометричного гвинта. Для цього необхідно обертати мікрометричний гвинт до появи «поклацання» (проводити цю процедуру в інший спосіб не можна, тому що це приведе до появи надмірної похибки). Відлік цілих міліметрів і половинок проводиться по нерухомій шкалі, а відлік додаткових сотих часток – по рухомій. При повному оберті барабан зміщується на 50 поділок, тобто на 0,5 мм.

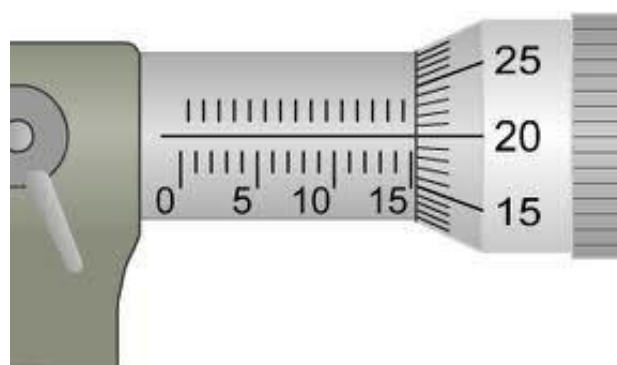


Рис. 1.6. Шкали мікрометра

Барабан розділений по окружності на 50 рівних частин. При повороті на один розподіл мікрометричний гвинт, з'єднаний з барабаном, переміщається уздовж осі на $1/50$ кроку, тобто $(0,5 \text{ мм}):50=0,01 \text{ мм}$. Ціле число міліметрів і половину міліметра відраховують краєм скосу барабана по шкалі.

Соті частки міліметра визначають за порядковим номером штриха барабана, що збігається з подовжнім штрихом стебла. На рис. 1.7 (б, в, г) показано приклади читання показань. Слід відзначити, що відлік по нерухомій шкалі (показана ціла або половинна поділлка) потребує певного навичку через деяке зміщення обертальної частини мікрометра відносно вірного положення. Рекомендується перед початком вимірювань встановити мікрометр на «нуль» при обертанні мікрометричного гвинта. Ця процедура також дозволить встановити наявність систематичної похибки мікрометра. На скобі певного мікрометра вказують межі (діапазон) вимірювань (наприклад, 0-25 мм, як показано на рис. 1.7, 25-75 мм).

Звичайно, вибравши потрібний прилад, необхідно правильно провести самі вимірювання. Це стосується підготовки інструмента, який використовується (збіг нульових штрихів ноніуса і штанги, нульового штриха барабана з подовжнім штрихом стебла, скіс барабана має відкривати нульовий штрих стебла, відсутність мертвого ходу гвинта) і

проведення вимірювань (правильне положення губок щодо зовнішніх або внутрішніх циліндричних і рівнобіжних поверхонь дозволяє уникнути завищення або заниження показань). При читанні показань інструмент варто тримати прямо перед очима.

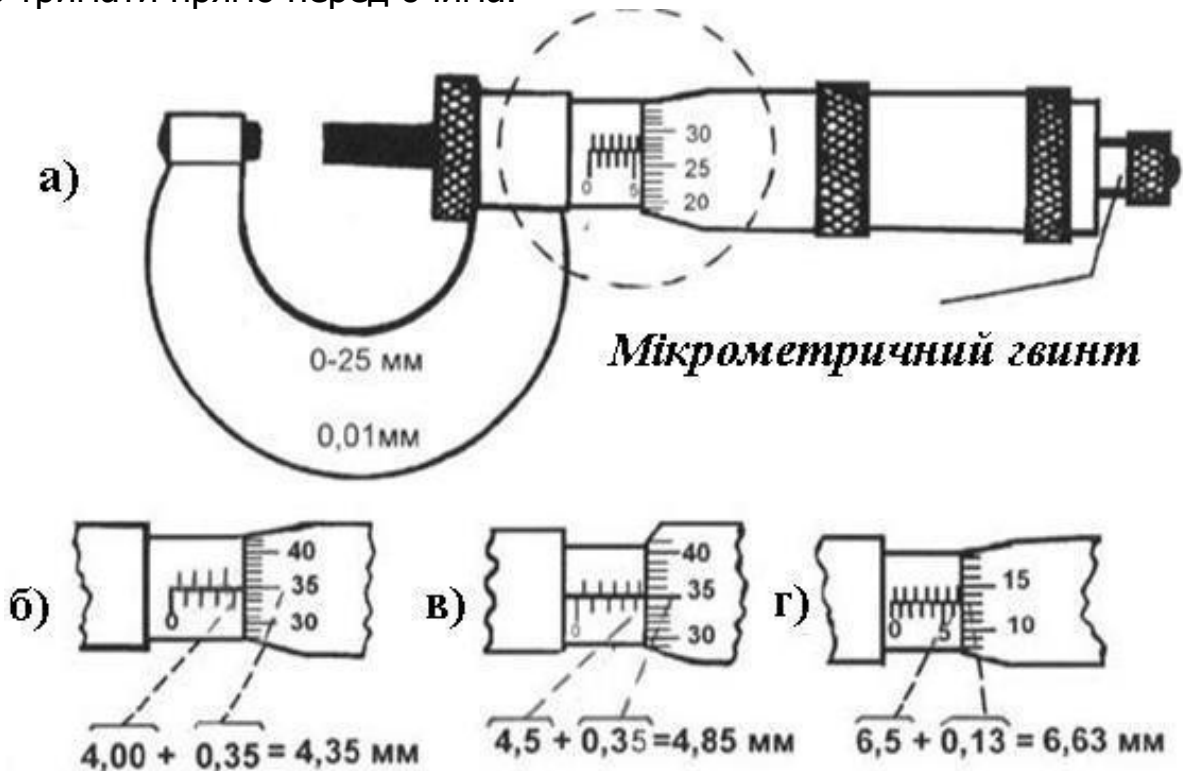


Рис. 1.7. Приклади читання показань по шкалі мікрометра

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

У теорії ми маємо справу, наприклад, з циліндричним стержнем, про який відомо, що його діаметр дорівнює d мм, і цим усе вичерпано. На практиці ж варто переконатися, чи дійсно стержень циліндричний, або ще вірніше — указати межі, у яких можна це прийняти. Таким чином, необхідно: вимірити діаметр у тому самому місці в різних напрямках інструментами з різною точністю.

Повторити зазначену операцію в різних місцях (перетинах) по довжині стержня. Природно, ретельність подібного дослідження, як завжди, визначається тією метою, що переслідують вимірювання.

Визначити відстань між протилежними торцями стержня і перевірити, якою мірою вони рівнобіжні.

ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

До протоколу лабораторної роботи занести наступні дані:

Кількість точок вимірювань (перетинів) на стержні $N =$.

Кількість напрямів у рамках одного перетину $M =$.

Результати вимірювань записати в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2.

Номер перетину	Лінійка	Штангенциркуль (з величиною відліку за ноніусом 0,1 мм)	Штангенциркуль (з величиною відліку за ноніусом 0,05 мм)	Мікрометр
1.	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм
	$d_i =$ мм	$d_i =$ мм	$d_i =$ мм	$d_i =$ мм
	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм
-----	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм
	$d_i =$ мм	$d_i =$ мм	$d_i =$ мм	$d_i =$ мм
	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм
N	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм
	$d_i =$ мм	$d_i =$ мм	$d_i =$ мм	$d_i =$ мм
	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм

Кожному номеру і перетину (умовно показані рядки для 1-го, N -го і довільної кількості між ними) у таблиці 1.2 відповідає M рядків вимірювань по числу напрямів у рамках одного перетину.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається лінійними вимірюваннями?
2. Що таке ноніус?
3. На чому заснований метод ноніуса?
4. Які бувають види штангенінструментів?
5. Які межі допустимих похибок штангенінструментів?
6. Які правила експлуатації штангенінструментів?
7. Як визначається величина відліку за ноніусом?
8. Що являє собою фізична величина ?
9. Назвіть основні одиниці SI у встановленому порядку, запишіть їхні розмірності.
10. Чим характеризують точність вимірювань ?
11. Що таке засіб вимірювань ?

12. Які засоби вимірювань використовують при проведенні лінійних вимірювань ?

13. Розповісти про основні принципи вимірювань.

14. Розповісти про класифікації вимірювань.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОХИБКИ ЛАБОРАТОРНИХ ВАГ

МЕТА РОБОТИ: дослідження вимірювання похибки лабораторних ваг з метою врахування похибки їх нерівноплечності.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Як технічні засоби, що мають нормовані метрологічні характеристики і використовуються для виміру маси, застосовують міри і вимірювальні прилади.

Однозначними мірами, тобто мірами, номінальні значення яких відповідають масі одного розміру, є гирі. Їх формують у набори (комплекти), що дозволяють використовувати їх не тільки окремо, але й у різних сполученнях з метою відтворення значень маси різного розміру.

До вимірювальних приладів відносяться ваги, вагові дозатори і контрольні вагові автомати (контрольні ваги). Останні призначені для контролю відхилень маси об'єктів, що зважуються, від установленого номінального значення, і для вироблення керуючого сигналу на розбракування.

Різноманіття класифікаційних ознак дозволяє створювати численні класифікаційні схеми для ваг і гирь. Однак слід враховувати, що в практиці виробництва й експлуатації засобів вимірів маси діють нормативно-технічні документи, що регламентують технічні умови, норми точності й методи перевірки визначених груп ваг і гирь. Іншими словами, нормативна база сформована таким чином, що вона визначає логіку класифікації ваговимірювальної техніки, впливаючи з якої можна, класифікувати міри і прилади, спираючись на діючі нормативно-технічні документи.

Аналіз нормативно-технічної документації показує, що група мір маси не має потреби в подальшому розвитку класифікації, тоді як ваги і вагові дозатори, що входять у групу ваговимірювальних приладів, вимагають більш глибокого класифікаційного розгорнення.

Однією з найважливіших класифікаційних ознак, що розділяють ваги і дозатори на дві основні групи, є принцип дії, на підставі якого розрізняють ваговимірювальні прилади дискретної чи безупинної дії.

Залежно від способу перетворення вимірювального сигналу ваги і

вагові дозатори розділяються на механічні, гідравлічні, електромеханічні, оптико-механічні, пневматичні та ін.

Подальший класифікаційний поділ ваговимірювальних приладів на підгрупи всередині кожної групи може бути виконаний за рядом ознак – призначенням, конструкцією, способом установки і т.п. Як приклад реалізації таких можливостей наведена класифікаційна схема лабораторних ваг (рис. 2.1.).

Властивості засобів вимірів можна бути розділити на дві групи. Одні властивості, будучи якісними категоріями, не мають впливу на результати і похибки вимірів. До них можна віднести, наприклад, ергономічні, естетичні, та ряд інших властивостей. Властивості засобів вимірів, які називаються метрологічними, впливають на результати і похибки вимірів. Для їхньої кількісної оцінки використовують відповідні метрологічні характеристики засобів вимірів.



Рис. 2.1. Класифікація лабораторних ваг

До метрологічних характеристик засобів вимірювань відносять характеристики метрологічних властивостей засобів вимірів, що впливають на результати і похибки вимірів, призначені для оцінки технічного рівня і якості засобів вимірів, для визначення результатів вимірів, розрахункової оцінки характеристик інструментальної складової похибки вимірів, оптимального вибору засобів вимірів і використання як кількісних критеріїв при оцінці відповідності засобів вимірів установленим нормам.

Властивості засобів вимірів можуть бути розділені на дві групи. Одні властивості, будучи якісними категоріями, не мають впливу на результати і похибки вимірів. До них можна віднести, наприклад, ергономічні, естетичні та ряд інших властивостей. Властивості засобів вимірів, які називаються метрологічними, впливають на результати і похибки вимірів. Для їхньої кількісної оцінки використовують відповідні метрологічні характеристики засобів вимірів.

До метрологічних характеристик засобів вимірювань відносять характеристики метрологічних властивостей засобів вимірів, що впливають на результати і похибки вимірів, призначені для оцінки технічного рівня і якості засобів вимірів, для визначення результатів вимірів, розрахункової оцінки характеристик інструментальної складової похибки вимірів, оптимального вибору засобів вимірів і використання як кількісних критеріїв при оцінці відповідності засобів вимірів установленим нормам.

Однією із стандартизованих метрологічних властивостей засобу вимірів, що характеризують його досконалість у відношенні систематичних похибок, є правильність. Правильність - це якість, що відображає близькість до нуля його систематичних похибок.

Для виміру маси іноді використовують нестандартизований термін "вірність ваг", що позначає ту ж якість ваг, що і правильність. Оскільки виникнення систематичних похибок підйомних ваг головним чином обумовлено недосконалістю технології виготовлення підйомної системи, їхня вірність залежить від строго витриманого співвідношення плечей важелів.

Нормовані метрологічні характеристики правильності рівноплечих ваг – похибка через нерівноплечність. Для нерівноплечових підйомних вагових систем використовується інша нормована метрологічна характеристика – похибка, обумовлена положенням вантажу на вагоприймальному пристрої.

У більшості випадків причиною нерівноплечності є неможливість виготовлення абсолютно симетричного коромисла. Але технологічний фактор – не єдина перешкода для ліквідації нерівноплечності. На зміну співвідношення плечей коромисла впливає також температура. Нерівномірний (однобічний) нагрів плеча коромисла на 0,1-0,2 °C може

викликати, залежно від матеріалу, з якого воно виготовлено, подовження плеча на кілька десятих часток мікрометра, що приводить при зважуванні на аналітичних вагах до виникнення похибки через нерівноплечність, значення якої набагато перевершує ціну розподілу шкали ваг. Нерідко причиною появи похибки через нерівноплечність є знос робочих граней призм та інші фактори, вплив яких не може бути заздальгідь врахований. Тому похибка через нерівноплечність, будучи, власне кажучи систематичною, на практиці виявляється як випадкова.

Неможливість повної ліквідації нерівноплечності обумовила необхідність нормування значень похибки, що допускається, через нерівноплечність для лабораторних ваг різних типів і класів точності залежно від найбільших меж зважування. Значення похибки, що допускаються, через нерівноплечність виражаються безпосередньо в одиницях маси.

Для зважування вантажів значної маси однопідйомні рівноплечові ваги із зрозумілих причин є непридатними. Для цієї мети використовують багатопідйомні нерівноплечові ваги. Діюче на вагоприймний пристрій таких ваг навантаження розподіляється між вагоприймними важелями нерівномірно, причому значення кожної зі складових навантаження, яка сприймається окремими важелями, залежить від розташування вантажу на платформі ваг, тобто зміна місця розташування об'єкта зважування приводить до перерозподілу сил, які діють на важелі.

Кожна складова навантаження передається за допомогою передатних важелів на відліковий пристрій, послідовно зменшуючись у заданому співвідношенні. Підйомна система повинна бути сконструйована таким чином, щоб зміна місця розташування вантажу не викликала зміни показань ваг. Іншими словами, похибка, зв'язана з положенням вантажу на вагоприймному пристрої, має бути мінімальною. Оскільки основною причиною її виникнення є конструктивно-технологічна недосконалість підйомної вагової системи, дана похибка відноситься до систематичних похибок.

У практиці використання засобів вимірів показання, отримані при багаторазовому вимірі однієї і тієї ж вимірюваної величини, виявляються незбіжними навіть у випадках, коли вимір виконують тим самим приладом при незмінних умовах в обмеженому інтервалі часу. Очевидно, що причиною розбіжності результатів вимірів є виникнення випадкових похибок. Стандартизованим терміном, що характеризує розглянуту властивість засобів вимірів, є збіжність показань – якість засобу виміру, що відображає близькість до нуля його випадкових похибок.

Звичайно нормованою метрологічною характеристикою збіжності показань засобу вимірів є варіація вихідного сигналу вимірювального приладу чи перетворювача варіація його показань. Варіація вихідного сигналу вимірювального перетворювача (або показань вимірювального

приладу) – це різниця між значеннями інформативного параметра вихідного сигналу вимірювального перетворювача (або показань вимірювального приладу), що відповідають даній точці діапазону виміру при двох напрямках повільних змін інформативного параметра вхідного сигналу в процесі підходу до даної точки діапазону вимірів. При декількох підходах до даної точки діапазону вимірів у кожному з двох напрямків варіація визначається як середня різниця.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Викладач перевіряє готовність студентів до роботи і засвоєння ними теоретичних положень про види ваг, їх класифікацію, метрологічні характеристики ваг, види похибок, порядок роботи з вагами.
2. Викладач знайомить студентів з порядком виконання експериментальної частини.
3. Студенти виконують виміри маси досліджуваних деталей за допомогою ваг.
4. Роблять розрахунки середніх арифметичних значень отриманих результатів.
5. Розраховують випадкові відхилення результатів вимірювань.
6. Визначають квадрати випадкових відхилень результатів вимірювань, а також середнє квадратичне відхилення результатів експериментальних вимірювань.
7. Заносять результати вимірів та розрахунків в протокол.

ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Стенд дослідження вимірювання складається з лабораторних ваг (рис. 2.2.), гирь для вимірювання і заготовки, маса якої вимірюється.



Рис. 2.2. Лабораторні ваги

Для рівноточкових вимірів, які виконуються на одному й тому ж пристрої в одних і тих же умовах однією людиною, обробку результатів вимірів слід виконувати в наступній послідовності.

Потрібно:

1. Знайти середнє арифметичне значення ряду результатів вимірів $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ за формулою:

$$X_{\text{cp}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.1)$$

2. Розрахувати випадкові відхилення результатів вимірів, тобто різниці v_i між кожним з результатів вимірів і середнім арифметичним значенням:

$$v_i = x_i - X_{\text{cp}}. \quad (2.2)$$

3. Визначити квадрати випадкових відхилень результатів вимірів та їх суму:

$$v_i^2 = (x_i - X_{\text{cp}})^2. \quad (2.3)$$

4. Розрахувати середнє квадратичне відхилення $\bar{\sigma}$ результатів вимірів:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}. \quad (2.4)$$

5. Результати розрахунків занести у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Результуючий протокол

№ п/п вимірювань	Відлік x_i , мг	Відхилення $v_i = x_i - X_{\text{cp}}$, мг	v_i^2 , мг ²
1	2	3	4
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке випадкове відхилення результатів замірів?
2. Як класифікують ваги за призначенням?
3. Як класифікують ваги за конструкцією?
4. Які бувають ваги за способом перетворення вимірювального сигналу?
5. Як розраховується середнє квадратичне відхилення?
6. Що впливає на збіжність показників ваг?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ ТОЧНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

МЕТА РОБОТИ: ознайомитися з видами засобів вимірювання, їхніми структурними елементами, визначити клас точності засобів вимірювання та відповідних до нього абсолютної та відносної похибок.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Засоби вимірювання слід класифікувати, встановлюючи класи точності, що характеризують різні рівні точності засобів вимірювання одного й того ж виду. Для кожного класу точності засобів вимірювання певного виду слід встановлювати параметри та характеристики, які визначають їхні окремі метрологічні властивості, котрі викликають інструментальні похибки вимірювань, що виконуються за допомогою цих засобів.

Клас точності засобу вимірювальної техніки (засобу вимірювань) – узагальнена характеристика, що визначається межами допустимої основної і додаткової похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність, значення яких регламентується. Клас точності засобу вимірювань, хоч і характеризує його властивості щодо точності, але не є безпосереднім показником точності вимірювань, які виконані з його допомогою.

Засобам вимірювань з двома чи більшою кількістю діапазонів вимірювань даної фізичної величини допускається присвоювати два і більше класів точності. Засобам вимірювань, які призначені для вимірювань двох і більше фізичних величин, також допускається присвоювати різні класи точності для кожної вимірюваної величини.

Межі допустимих основної і додаткової похибок засобів вимірювань встановлюють у формі абсолютних, зведених або відносних значень, залежно від характеру їх зв'язку з інформативним параметром вхідного чи вихідного сигналів.

Для кожного виду засобів вимірювання слід встановлювати деяку кількість класів точності, що відображають такі рівні метрологічних властивостей, котрі відповідають вимогам науки та техніки. В той же час, позначення, що присвоюється будь-якому класу точності, відображає деякий загальний рівень метрологічних властивостей засобу вимірювання. але не дає безпосередньо точність вимірювань, що виконуються за допомогою цих засобів.

Аналогові пристрої зазвичай обладнані шкалами; так на рис. 3.1. показаний відліковий пристрій аналогового приладу.

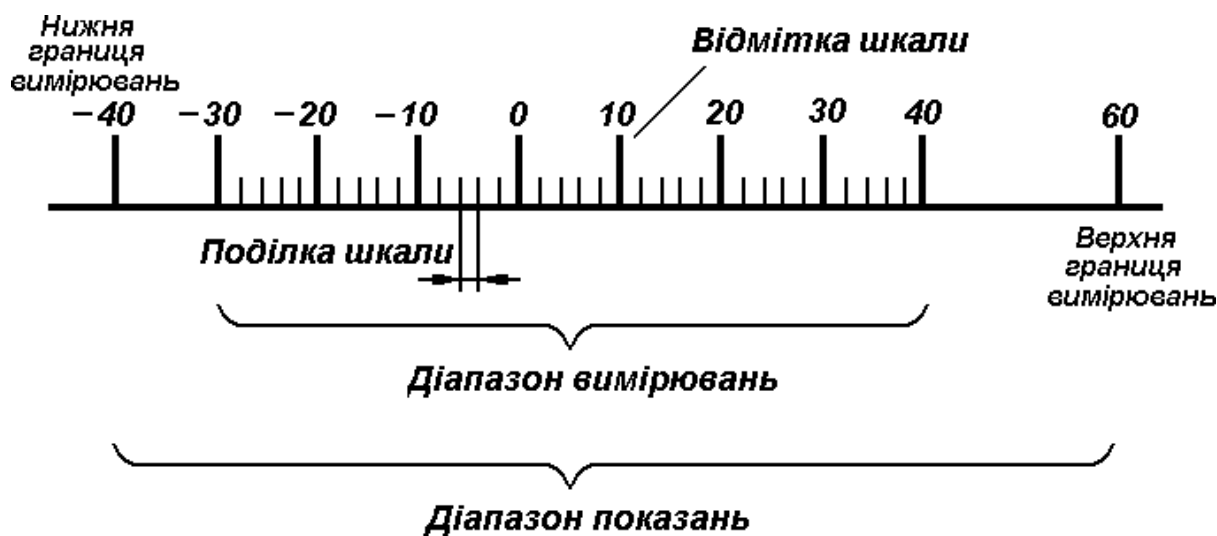


Рис. 3.1. Відліковий пристрій аналогового приладу

За визначенням виділяють наступне:

Поділка шкали – проміжок між двома сусідніми відмітками шкали.

Довжина поділки шкали – відстань між осями двох сусідніх відміток.

Ціна поділки шкали – різниця значень величини, що відповідають двом сусіднім відміткам шкали.

Відліком називається число, визначене по відліковому пристрою.

Показання приладу – значення величини, що визначається по відліковому пристрою і виражене в прийнятих одиницях цієї величини. У багатограничних приладах, де та ж сама шкала використовується для вимірювань на різних границях вимірювання, показання приладу дорівнює відліковим, помноженим на ціну поділки для відповідної границі вимірювання. У деяких випадках показання визначається за допомогою відліку по прикладеній до приладу **градуїованій характеристиці** – залежності між відліком і значенням величини на вході приладу, представленої у виді таблиці, графіка або формули.

Діапазон показань – область значень шкали, обмежена кінцевим

(найбільшим) і початковим (найменшим) значеннями фізичної величини, зазначеними на шкалі.

Діапазон вимірювань – область значень вимірюваної величини, для якої нормована похибка засобу вимірювань.

Границя вимірювань – найбільше або найменше значення діапазону вимірювань. Діапазон показань і діапазон вимірювань можуть не збігатися (рис. 3.1).

Шкали бувають **рівномірними** та **нерівномірними**. Рівномірна шкала на відміну від нерівномірної – шкала з поділками постійної довжини і з постійною ціною поділки.

За способом вираження розрізняють **абсолютну, відносну і приведену** похибки приладу.

Різниця ΔX між показаннями приладу $X_{\text{ПР}}$ і істинним значенням A вимірюваної величини називається абсолютною похибкою приладу:

$$\Delta X = X_{\text{ПР}} - A, \quad (3.1)$$

яка виражається в тих же одиницях, що і вимірювана величина.

Абсолютна похибка, узятя зі зворотним знаком, називається **виправленням вимірювального приладу**.

Але оскільки істинне значення A вимірюваної величини невідомо, та невідомі і похибки вимірювання, тому доводиться у формулу (3.1) замість істинного значення підставляти так зване дійсне значення.

Дійсним значенням фізичної величини – називається її значення, знайдене експериментально, та настільки наближене до істинного, що для даної мети воно може бути використане замість нього. На практиці приймають також показання більш точного, зразкового приладу.

Відносна похибка приладу δ – відношення абсолютної похибки приладу до істинного значення вимірюваної величини. Визначається, як правило, у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta X}{A} = \frac{X_{\text{ПР}} - A}{A} \text{ або } \delta = \frac{\Delta X}{A} \cdot 100\%. \quad (3.2)$$

Приведена похибка приладу γ – відношення абсолютної похибки приладу до деякого нормованого значення $X_{\text{Н}}$

$$\gamma = \frac{X_{\text{ПР}} - A}{X_{\text{Н}}} \cdot 100\%. \quad (3.3)$$

Відповідно до стандартів $X_{\text{Н}}$ приймається рівним:

-більшій з границь вимірювань або більшому з модулів границь вимірювань для засобу вимірювання з рівномірною або ступеневою шкалою, якщо нульова відмітка знаходиться на краю або поза діапазону вимірювань;

-арифметичній сумі модулів границь вимірювань, якщо нульова відмітка знаходиться усередині діапазону вимірювань;

-установленому номінальному значенню для засобу вимірювання з установленим номінальним значенням вимірюваної величини;

-усій довжині шкали для приладів з істотно нерівномірною шкалою, при цьому абсолютні похибки також виражають в одиницях довжини.

У вимірювальних приладах, як правило, нормується основна приведена похибка у всьому діапазоні вимірювань, що називається класом точності приладу та відображає відносну похибку. Відповідно до стандартів класи точності вибирають з ряду: 1×10^n ; 1.5×10^n ; 1.6×10^n ; 2×10^n ; 2.5×10^n ; 3×10^n ; 4×10^n ; 5×10^n ; 6×10^n , де $n = 1, 0, -1, -2, -3, \dots$. Приведена похибка (3.3) не є відносною похибкою приладу. Маючи границю допустимої приведенної похибки, можна визначити границю допустимої відносної похибки для кожного значення $X_{ГП}$ величини, що вимірюється, за наступною залежністю

$$\delta = \gamma \frac{X_H}{X_{ГП}}. \quad (3.4)$$


На засобах вимірювання клас точності позначається наступним чином (таблиця 3.1):

За приведеною похибкою прилади розподіляються на ряд класів 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 1,6; 2,5; 4,0.

Прилади класу точності до 0,6 включно служать для перевірки інших приладів називаються прецизійними. Для технічних вимірювань застосовують прилади з класом точності від 1,0 до 4,0. Якщо позначення на шкалі приладу відсутнє, його приведена похибка перевищує 4%.

Таблиця 3.1. Класи точності приладів

Форма виразу похибки	Клас точності або границя допускаємої похибки	Позначення класу
Абсолютна	Клас М	М
Приведена, якщо нормуюче значення виражене в одиницях величини, що вимірюється	$\gamma = \pm 1.5\%$	1.5
Приведена, якщо нормуюче значення прийнято рівним довжині шкали	$\gamma = \pm 1.5\%$	Ⓜ
Відносна постійна	$\delta = \pm 1.5\%$	Ⓜ
Відносна, що зростає зі зменшенням величини, що вимірюється	$\delta = \pm \left[c + d \left(\left \frac{X_H}{X} \right - 1 \right) \right]$	0.02/0.01

Позначка, наприклад, , відповідає приладам з істотно нерівномірною шкалою. При цьому границі абсолютної похибки виражають, як і довжину шкали, в одиницях довжини. X_H приймають рівним всій довжині шкали або її частини, що відповідає діапазону вимірювань.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

У якості засобів вимірювання аналізуються пружинні манометри, які є найпоширенішими з приладів, що вимірюють тиск. Вони працюють за принципом деформації трубчастої пружини під впливом тиску середовища. Манометри застосовуються у всіх випадках, коли необхідно знати, контролювати і регулювати тиск, найбільш часто манометри застосовують в теплоенергетиці, на хімічних, нафтогазових підприємствах, підприємствах харчової галузі.

Для запропонованих викладачем приладів, а також для зображених на рис. 3.2, зробити опис пристрою за наступною схемою:

Різновид приладу – до якої групи відноситься:

Манометри – прилади з вимірюванням від 0,06 до 1000 МПа, вимірюють надлишковий тиск, тобто додатну різницю між абсолютним і барометричним тиском.

Вакуумметри – прилади для вимірювання розрідження (тиск нижче за атмосферний), до -100 кПа.

Мановакуумметри – манометри, що вимірюють як надлишковий (від 60 кПа до 240 МПа), так і вакуум метричний (-100 кПа) тиски.

Напірометри – манометри малих надлишкових тисків (до 40 кПа).

Барометри – прилад, що вимірює атмосферний тиск.

Клас точності приладу, до якої групи – прецизійні або технічні – він відноситься (вказується на шкалі або в паспорті приладу).

Границі вимірювань у відповідних одиницях.

Ціна поділки шкали приладу.

Оцінка особливостей середовища, що вимірюється, та умов експлуатації приладу.

Загальнотехнічні – призначені для вимірювання не агресивних до сплавів міді рідин, газів в парів.

Спеціальні – кисневі – мають бути знежиреними через можливість вибуху незначного забруднення механізму при контакті з чистим киснем (колір корпусу, може бути голубим).

Спеціальні – ацетиленові – не допускають у виготовленні вимірювального механізму сплавів міді через можливість утворення

вибухонебезпечної ацетиленістої міді при контакті з ацетиленом (колір корпусу, може бути білим).

Прилади, що використовуються в практичній роботі



а)



б)



в)



г).



д)



е)



ж)



з)

Рис. 3.2. Прилади для виконання практичної роботи
 Спеціальні аміачні – мають бути стійкими до корозії (колір корпусу, може бути жовтим).

Визначення габаритних розмірів та приєднувальних розмірів.

ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Викладач перевіряє готовність студентів до роботи і засвоєння ними теоретичних положень про класи точності засобів вимірювальної техніки, засоби вимірювань різних діапазонів фізичних величин.

2. Викладач знайомить студентів з порядком виконання експериментальної частини.

3. Викладач видає завдання студентам за варіантами.

4. Студенти визначають клас точності.

5. Визначають похибку приладів.

6. Перераховують задані показання приладів.

7. Заносять отримані дані до протоколу практичної роботи (табл. 3.2.).

Таблиця 3.2. – Протокол роботи

Прилад	Клас точності	Показання приладів	Похибки приладів	Переховані показання приладів
1	2	3	4	5
Амперметр				
Вольтметр				
Мегомметр				
Ампервольтметр				
.				
.				
.				
.				
.				

Для зменшення похибки вимірювання вимірювальний діапазон приладу слід визначати від 0 до $\frac{3}{4}$ діапазону показань.

Для різних приладів записати результат вимірювання з урахуванням роботи на початку шкали, в її середині та в кінці. Визначити абсолютну похибку для різних варіантів вимірювань. Порівняти похибки вимірювань одного значення тиску при вимірюваннях різними за класом точності та границями вимірювань приладами.

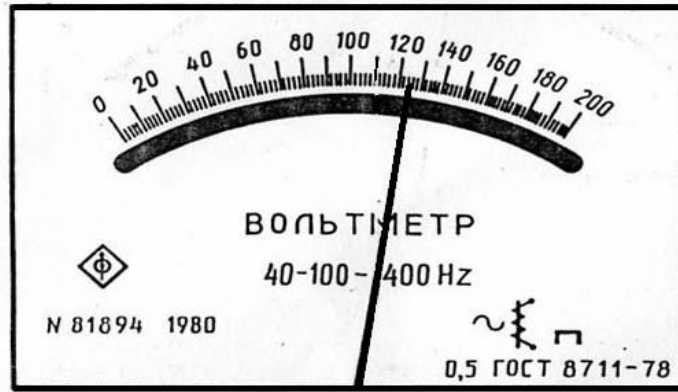


Рис. 3.3. - Лицьова панель вольтметра класу точності 0,5 з рівномірною шкалою

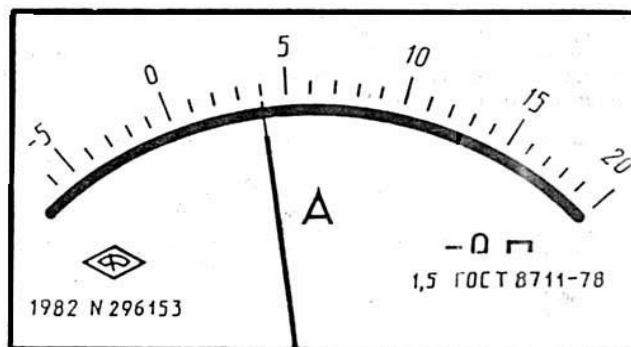


Рис. 3.4.- Лицьова панель амперметра класу точності 1,5 з рівномірною шкалою

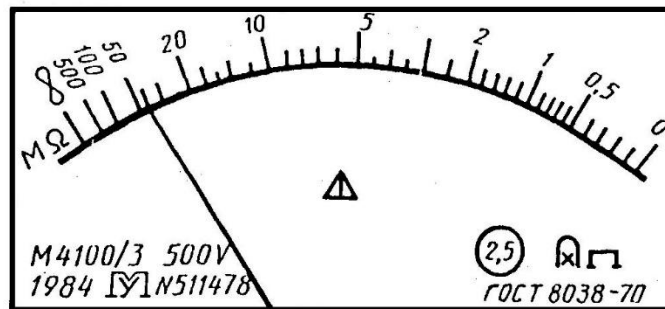


Рис. 3.5. - Лицьова панель мегомметра класу точності 2,5 з нерівномірною шкалою

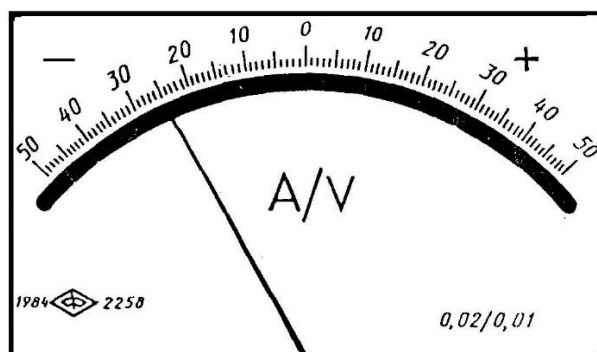


Рис. 3.6. - Лицьова панель ампервольтметра класу точності 0,02/0,01 з рівномірною шкалою

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які існують похибки, дати математичний вираз для кожної з них.
2. Побудуйте графічне зображення для абсолютної похибки та границь допустимих відносних похибок.
3. Дайте визначення класу точності приладу.
4. Які існують позначення класів точності? Наведіть вираз для границь допустимої похибки, що відповідають цим позначенням.
5. За яким принципом побудовано ряд класів точності?
6. Які класи точності існують для засобів вимірювання?
7. Які прилади використовуються для вимірювання тиску?
8. Які конструктивні особливості мають ці прилади?
9. Що називається класом точності засобів вимірювальної техніки?
10. Як визначається клас точності засобів вимірювальної техніки?
11. Як визначається похибка вимірювального приладу?
12. Наведіть приклади меж допустимої основної похибки?
13. Що називається похибкою?
14. Які бувають види похибок?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ НОРМОВАНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

МЕТА РОБОТИ: Дослідження нормованих метрологічних характеристик лічильників кількості спожитої електричної енергії для визначення реальної точності показань та їх похибок.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) – це характеристики, що впливають на результати й похибки вимірювань і призначені для оцінювання технічного рівня та якості ЗВТ, визначення результатів вимірювань та оцінки інструментальної складової похибки вимірювань. Номенклатура метрологічних характеристик встановлюється міждержавним стандартом який являє собою:

1. Характеристики, призначені для визначення результатів вимірювань (без введення поправок). До них, зокрема, належать:
 - функція перетворення вимірювального перетворювача, а також вимірювального приладу з неіменованою шкалою або зі шкалою, відградуваною в одиницях, відмінних від одиниць вхідної величини;

- номінальне значення однозначної міри або номінальні значення багатозначної міри;
- ціна поділки шкали вимірювального приладу або багатозначної міри;
- вид вихідного коду, кількість розрядів коду, номінальна ціна одиниці найменшого розряду коду засобів вимірювань, призначених для видачі інформації в цифровому коді.

2. Характеристики похибок засобів вимірювань. Нормування цих характеристик здійснюється з поділом похибки Δ засобу вимірювань на систематичну $\bar{\Delta}$ й випадкову Δ^0 складові або без такого поділу. Для сукупності засобів вимірювань даного типу $\bar{\Delta}$ трактується як випадкова похибка, для якої нормують межу $\bar{\Delta}_{доп}$ її допустимого значення, математичне сподівання $M[\bar{\Delta}]$ та середнє квадратичне відхилення $\sigma[\bar{\Delta}]$. Основною нормованою характеристикою випадкової складової Δ^0 є межа $\sigma_{доп}[\Delta^0]$ допустимого значення її середнього квадратичного відхилення. Для похибки Δ (без поділу на $\bar{\Delta}$ і Δ^0) засобу вимірювань, як і для $\bar{\Delta}$, нормують межу $\Delta_{доп}$ допустимого її значення математичне сподівання $M[\bar{\Delta}]$ та середньоквадратичне відхилення $\sigma[\bar{\Delta}]$. У спеціально обґрунтованих випадках вказують розподіл ймовірностей значень складових $\bar{\Delta}$ і Δ^0 .

3. Характеристики чутливості факторів. Ці характеристики нормуються встановленням номінальної функції впливу $\psi(\xi)$ як залежності зміни метрологічних характеристик ЗВТ від змін впливних величин ξ чи неінформативних параметрів вхідного сигналу, а також встановлення меж допустимих змін метрологічних характеристик (зокрема характеристик похибок) при зміні впливних факторів у заданих межах. Межі допустимих змін похибок ЗВТ звичайно називають межами допустимої додаткової похибки ЗВТ.

4. Динамічні характеристики. Нормовані динамічні характеристики засобів вимірювань поділяються на повні й часткові. До повних відносять диференціальне рівняння, перехідну $h(t)$, імпульсну перехідну $q(t)$ та передавальну $W(s)$ функції, до часткових – окремі параметри повних характеристик і характеристики, наприклад, час встановлення показів вимірювального приладу. Чинними стандартами динамічні похибки засобів вимірювань не нормуються, бо легше нормувати перераховані вище інші динамічні характеристики, що дають змогу оцінювати похибки у динамічному режимі роботи засобу вимірювань для конкретних умов його застосування.

5. Характеристики ЗВТ, що відображають їх здатність впливати на інструментальну складову похибки вимірювань ЗВТ внаслідок взаємодії з будь-яким компонентом, приєднаним до входу чи виходу (таких, як об'єкт вимірювань, засіб вимірювань і т.д.). Прикладом характеристик

такої групи можуть бути вхідний й вихідний імпеданси лінійного вимірювального перетворювача.

6. Неінформативні параметри вихідного сигналу ЗВТ.

Похибки вимірювань (абсолютні) можуть залежати від значення вимірюваної величини або бути незалежними від нього. Якщо абсолютна похибка не залежить від значення вимірюваної величини, то вона називається адитивною – така, що додається до вимірюваної величини (рис. 4.1.). Відповідно до цього її модель буде мати вигляд:

$$\Delta_a = \Delta_0, \tag{4.1}$$

а результат вимірювання, спотворений адитивною похибкою Δ_0 :

$$x = X + \Delta_0. \tag{4.2}$$

Адитивні похибки проявляються як зміщення покажчика аналогових приладів з нульової позначки, а в електронних приладах – як ненульовий показ при нульовому значенні вимірюваної величини.

Якщо абсолютна похибка прямо пропорційно залежить від значення вимірюваної величини, то вона називається мультиплікативною (рис. 4.2.). Відповідно до цього її модель буде наступною:

$$\Delta_0 = \delta_s X \cong \delta_s x, \tag{4.3}$$

де δ_s – відносна мультиплікативна похибка, а результат вимірювання, що спотворений такою похибкою, буде:

$$x = X + \delta_s X, \tag{4.4}$$

При нульовому значенні вимірюваної величини ця похибка також має нульове значення. Мультиплікативна похибка вимірювання зумовлена похибками коефіцієнтів перетворення вимірювальних перетворювачів, зокрема, масштабних – вимірювальних підсилювачів, подільників, трансформаторів. Похибки еталонних (зразкових) величин можуть стати також причиною мультиплікативних похибок.

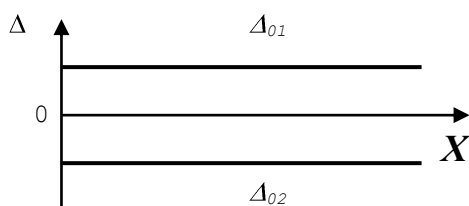


Рис. 4.1. - Адитивна похибка

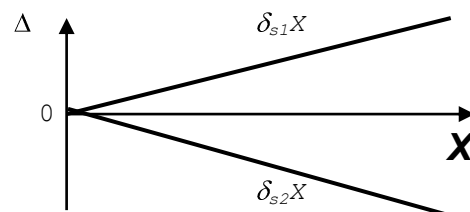


Рис. 4.2. - Мультиплікативна похибка

Залежно від особливостей використання засобів вимірів виникає необхідність у тому чи іншому наборі їхніх метрологічних характеристик. Так, для речовинних мір і цифро-аналогових перетворювачів, аналогових і цифрових вимірювальних приладів, що показують і реєструють, аналогових і аналого-цифрових вимірювальних перетворювачів нормуються різні набори метрологічних характеристик. Номенклатура нормованих метрологічних характеристик у кожному наборі залежить, крім того, від відповідальності вимірів та інших факторів.

Використання нормованих метрологічних характеристик для визначення в реальних умовах експлуатації точності показань засобів вимірів і виправлення, що забезпечує їхню правильність, розглянемо на прикладі вольтметра.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Викладач перевіряє готовність студентів до роботи і засвоєння ними теоретичних положень про метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки, види похибок.

2. Викладач знайомить студентів з порядком виконання експериментальної частини.

3. Студенти самостійно виконують розрахунки адитивної та мультиплікативної похибки лічильників кількості спожитої електричної енергії.

4. Результати вимірювань заносять до таблиці протоколу (табл. 4.1).

ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для виконання практичної роботи використовується лабораторний стенд на рис. 4.3.

Порядок включення стенду наступний:

1. Увімкнути автоматичний вимикач 1.
2. Подати навантаження на споживачі електричної енергії 2-4 шляхом включення вимикачів 5-7.
3. Увімкнути лічильник електричної енергії 12-14 шляхом увімкнення вимикачів 15-17.
4. За допомогою регулятора потужності 8 послідовно встановити силу струму 1.5, 2.5, 4 А.
5. За допомогою кнопок 19-20 встановити час проведення досліджень, рекомендується час встановлювати в межах 5-10 хв.

6. Натискаючи кнопку старту 21 починають обертатися диски лічильників 12-14.
7. Результати вимірів заносяться в табл. 4.1.



Рис. 4.3. – Лабораторний стенд для дослідження нормованих метрологічних характеристик

1 – автоматичний вимикач; 2-4 – споживачі електричної енергії №1-№3 відповідно (лампи розжарювання потужністю 300 Вт кожна); 5-7 – вимикачі споживачів електричної енергії №1-№3 відповідно; 8 – регулятор потужності споживачів електричної енергії; 9 – роз'єм для підключення додаткових споживачів електричної енергії; 10 – вольтметр (клас точності 1,5); 11 – амперметр (клас точності 1,5); 12-14 – лічильники кількості спожитої електричної енергії №1-№3 відповідно (клас точності 2,5 кожний); 15-17 – вимикачі лічильників кількості спожитої електричної енергії №1-№3 відповідно; 18 – циферблат таймеру роботи лічильників; 19-20 – кнопки встановлення часу роботи лічильників (зворотній відлік); 21 – кнопка старту зворотного відліку таймеру.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається метрологічними характеристиками засобів вимірювальної техніки?
2. Які бувають класи точності засобів вимірювальної техніки?
3. Назвіть характеристики похибок засобів вимірювань.

4. Що називається адитивною похибкою?
5. Що називається мультиплікативною похибкою?

№ експерименту	РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ			ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ									Табл. 4.1 Протокол вимірювань					
				1 лічильник				2 лічильник				3 лічильник						
	Напруга U_i , (В)	Сила струму I_i , (А)	Потужність $W_i^{\text{розр}}$, (Вт)	К-ть обертів за t_1 , $n_{1,i}^{E_n}$	К-ть обертів за 1 год, $N_{1,i}^{E_n}$	Слож. енерг. за 1 год, $W_{1,i}^{E_n}$, (кВт)	Середнє значення $W_{1,i}^{E_n}$	К-ть обертів за t_2 , $n_{2,i}^{E_n}$	К-ть обертів за 1 год, $N_{2,i}^{E_n}$	Слож. енерг. за 1 год, $W_{2,i}^{E_n}$, (кВт)	Середнє значення $W_{2,i}^{E_n}$	К-ть обертів за t_3 , $n_{3,i}^{E_n}$	К-ть обертів за 1 год, $N_{3,i}^{E_n}$	Слож. енерг. за 1 год, $W_{3,i}^{E_n}$, (кВт)	Середнє значення $W_{3,i}^{E_n}$			
1	U_1	1,5	$W_1^{\text{розр}} = 1,5 U_1 =$	$n_{1,1}^{E_1} =$	$N_{1,1}^{E_1} =$ $n_{1,1} 60 / t_1 =$	$W_{1,1}^{E_1} =$ $\frac{N_{1,1}^{E_1}}{600} =$	$W_{\text{екс.1}} = \frac{W_{1,1}^{E_1} + W_{1,2}^{E_1} + W_{1,3}^{E_1}}{3} =$	$n_{1,2}^{E_1} =$	$N_{1,2}^{E_1} =$ $n_{1,2} 60 / t_1 =$	$W_{1,2}^{E_1} =$ $\frac{N_{1,2}^{E_1}}{600} =$	$W_{\text{екс.1}} = \frac{W_{1,1}^{E_1} + W_{1,2}^{E_1} + W_{1,3}^{E_1}}{3} =$	$n_{1,3}^{E_1} =$	$N_{1,3}^{E_1} =$ $n_{1,3} 60 / t_1 =$	$W_{1,3}^{E_1} =$ $\frac{N_{1,3}^{E_1}}{600} =$	$W_{\text{екс.1}} = \frac{W_{1,3,1}^{E_1} + W_{1,3,2}^{E_1} + W_{1,3,3}^{E_1}}{3} =$			
				$n_{1,2}^{E_1} =$	$N_{1,2}^{E_1} =$ $n_{1,2} 60 / t_1 =$	$W_{1,2}^{E_1} =$ $\frac{N_{1,2}^{E_1}}{600} =$			$n_{1,2}^{E_1} =$	$N_{1,2}^{E_1} =$ $n_{1,2} 60 / t_1 =$		$W_{1,2}^{E_1} =$ $\frac{N_{1,2}^{E_1}}{600} =$		$n_{1,3}^{E_1} =$		$N_{1,3}^{E_1} =$ $n_{1,3} 60 / t_1 =$	$W_{1,3}^{E_1} =$ $\frac{N_{1,3}^{E_1}}{600} =$	
				$n_{1,3}^{E_1} =$	$N_{1,3}^{E_1} =$ $n_{1,3} 60 / t_1 =$	$W_{1,3}^{E_1} =$ $\frac{N_{1,3}^{E_1}}{600} =$			$n_{1,3}^{E_1} =$	$N_{1,3}^{E_1} =$ $n_{1,3} 60 / t_1 =$		$W_{1,3}^{E_1} =$ $\frac{N_{1,3}^{E_1}}{600} =$		$n_{1,3}^{E_1} =$		$N_{1,3}^{E_1} =$ $n_{1,3} 60 / t_1 =$	$W_{1,3}^{E_1} =$ $\frac{N_{1,3}^{E_1}}{600} =$	
2	U_2	2,5	$W_2^{\text{розр}} = 2,5 U_2 =$	$n_{2,1}^{E_2} =$	$N_{2,1}^{E_2} =$ $n_{2,1} 60 / t_1 =$	$W_{2,1}^{E_2} =$ $\frac{N_{2,1}^{E_2}}{600} =$	$W_{\text{екс.2}} = \frac{W_{2,1}^{E_2} + W_{2,2}^{E_2} + W_{2,3}^{E_2}}{3} =$	$n_{2,2}^{E_2} =$	$N_{2,2}^{E_2} =$ $n_{2,2} 60 / t_1 =$	$W_{2,2}^{E_2} =$ $\frac{N_{2,2}^{E_2}}{600} =$	$W_{\text{екс.2}} = \frac{W_{2,1}^{E_2} + W_{2,2}^{E_2} + W_{2,3}^{E_2}}{3} =$	$n_{2,3}^{E_2} =$	$N_{2,3}^{E_2} =$ $n_{2,3} 60 / t_1 =$	$W_{2,3}^{E_2} =$ $\frac{N_{2,3}^{E_2}}{600} =$	$W_{\text{екс.2}} = \frac{W_{2,3,1}^{E_2} + W_{2,3,2}^{E_2} + W_{2,3,3}^{E_2}}{3} =$			
				$n_{2,2}^{E_2} =$	$N_{2,2}^{E_2} =$ $n_{2,2} 60 / t_1 =$	$W_{2,2}^{E_2} =$ $\frac{N_{2,2}^{E_2}}{600} =$			$n_{2,2}^{E_2} =$	$N_{2,2}^{E_2} =$ $n_{2,2} 60 / t_1 =$		$W_{2,2}^{E_2} =$ $\frac{N_{2,2}^{E_2}}{600} =$		$n_{2,3}^{E_2} =$		$N_{2,3}^{E_2} =$ $n_{2,3} 60 / t_1 =$	$W_{2,3}^{E_2} =$ $\frac{N_{2,3}^{E_2}}{600} =$	
				$n_{2,3}^{E_2} =$	$N_{2,3}^{E_2} =$ $n_{2,3} 60 / t_1 =$	$W_{2,3}^{E_2} =$ $\frac{N_{2,3}^{E_2}}{600} =$			$n_{2,3}^{E_2} =$	$N_{2,3}^{E_2} =$ $n_{2,3} 60 / t_1 =$		$W_{2,3}^{E_2} =$ $\frac{N_{2,3}^{E_2}}{600} =$		$n_{2,3}^{E_2} =$		$N_{2,3}^{E_2} =$ $n_{2,3} 60 / t_1 =$	$W_{2,3}^{E_2} =$ $\frac{N_{2,3}^{E_2}}{600} =$	
3	U_3	3,5	$W_3^{\text{розр}} = 3,5 U_3 =$	$n_{3,1}^{E_3} =$	$N_{3,1}^{E_3} =$ $n_{3,1} 60 / t_1 =$	$W_{3,1}^{E_3} =$ $\frac{N_{3,1}^{E_3}}{600} =$	$W_{\text{екс.3}} = \frac{W_{3,1}^{E_3} + W_{3,2}^{E_3} + W_{3,3}^{E_3}}{3} =$	$n_{3,2}^{E_3} =$	$N_{3,2}^{E_3} =$ $n_{3,2} 60 / t_1 =$	$W_{3,2}^{E_3} =$ $\frac{N_{3,2}^{E_3}}{600} =$	$W_{\text{екс.3}} = \frac{W_{3,1}^{E_3} + W_{3,2}^{E_3} + W_{3,3}^{E_3}}{3} =$	$n_{3,3}^{E_3} =$	$N_{3,3}^{E_3} =$ $n_{3,3} 60 / t_1 =$	$W_{3,3}^{E_3} =$ $\frac{N_{3,3}^{E_3}}{600} =$	$W_{\text{екс.3}} = \frac{W_{3,3,1}^{E_3} + W_{3,3,2}^{E_3} + W_{3,3,3}^{E_3}}{3} =$			
				$n_{3,2}^{E_3} =$	$N_{3,2}^{E_3} =$ $n_{3,2} 60 / t_1 =$	$W_{3,2}^{E_3} =$ $\frac{N_{3,2}^{E_3}}{600} =$			$n_{3,2}^{E_3} =$	$N_{3,2}^{E_3} =$ $n_{3,2} 60 / t_1 =$		$W_{3,2}^{E_3} =$ $\frac{N_{3,2}^{E_3}}{600} =$		$n_{3,3}^{E_3} =$		$N_{3,3}^{E_3} =$ $n_{3,3} 60 / t_1 =$	$W_{3,3}^{E_3} =$ $\frac{N_{3,3}^{E_3}}{600} =$	
				$n_{3,3}^{E_3} =$	$N_{3,3}^{E_3} =$ $n_{3,3} 60 / t_1 =$	$W_{3,3}^{E_3} =$ $\frac{N_{3,3}^{E_3}}{600} =$			$n_{3,3}^{E_3} =$	$N_{3,3}^{E_3} =$ $n_{3,3} 60 / t_1 =$		$W_{3,3}^{E_3} =$ $\frac{N_{3,3}^{E_3}}{600} =$		$n_{3,3}^{E_3} =$		$N_{3,3}^{E_3} =$ $n_{3,3} 60 / t_1 =$	$W_{3,3}^{E_3} =$ $\frac{N_{3,3}^{E_3}}{600} =$	

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК В РЕЗУЛЬТАТАХ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МЕТОДОМ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

МЕТА РОБОТИ: ознайомитись з методом найменших квадратів для визначення похибок вимірювань на прикладі роботи лічильників води.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Оцінки числових характеристик законів розподілу імовірності випадкових чисел чи величин, які зображені точкою на числовій осі, називаються точковими. На відміну від самих числових характеристик їхні оцінки є випадковими, причому їхні значення залежать від обсягу експериментальних даних, а закони розподілу імовірності - від законів розподілу імовірності самих випадкових чисел чи значень вимірюваних величин. Оцінки повинні задовольняти трьом вимогам: бути складовими, незміщеними й ефективними. Складовою називається оцінка, що сходиться за імовірністю до оцінюваної числової характеристики. Незміщеною є оцінка, математичне чекання якої дорівнює оцінюваній числовій характеристиці. Найбільш ефективною вважають ту з декількох можливих незміщених оцінок, що має найменше розсіювання.

Розглянемо n незалежних значень Q_i , які отримані при вимірі фізичної величини постійного розміру. Середнє арифметичне значення результату виміру дорівнює:

$$\bar{Q}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (5.1)$$

яке сходиться за імовірністю до \bar{Q} , при будь-якому законі розподілення імовірності результату виміру і може служити складовою точковою оцінкою середнього значення.

Середнє арифметичне при будь-якому законі розподілу імовірності результату виміру є не тільки складовою, але й незміщеною оцінкою середнього значення. Цим забезпечується правильність результату багаторазового виміру.

Точність результату багаторазового виміру залежить від ефективності оцінки середнього значення. Чим вона ефективніше (чим менше її розсіювання), тим вище точність. Критерії ефективності можуть бути різними. При нормальному законі розподілу імовірності найбільш популярним є такий показник ефективності (міра

розсіювання), як сума квадратів відхилень від середнього значення. Чим менше цей показник, тим ефективніше оцінка. Це дозволяє поставити завдання відшукування оцінки середнього значення, найбільш ефективною за критерієм

$$\sum_{j=1}^m (\bar{Q}_j - \bar{Q})^2 = \min. \quad (5.2)$$

Таке завдання називається завданням синтезу оптимальної (тобто найкращої в змісті обраного критерію) оцінки середнього значення, а метод її вирішення, заснований на використанні критерію (5.2) - методом найменших квадратів.

Досліджуємо функцію в лівій частині виразу (5.2) на екстремум. Вона досягає мінімуму при:

$$\frac{d \sum_{j=1}^m (\bar{Q}_j - \bar{Q})^2}{d \bar{Q}_j} = 0. \quad (5.3)$$

Після зведення в квадрат і почленного диференціювання одержимо:

$$\sum_{j=1}^m \bar{Q}_j - m \bar{Q} = 0. \quad (5.4)$$

Якщо за оцінку \bar{Q} вибрати середнє арифметичне \bar{Q}_n , то рівність описана наступним виразом:

$$\sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} Q_j \right) - m \bar{Q} = 0, \quad (5.5)$$

буде виконуватися при $n \rightarrow \infty$ внаслідок складової цієї оцінки. Таким чином, середнє арифметичне є не тільки складовою і незміщеною, але і найбільш ефективною за критерієм найменших квадратів точкової оцінки середнього значення результату виміру.

Як точкову оцінку дисперсії результату виміру за аналогією із середнім арифметичним можна було б взяти з наступного виразу:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_n)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_n)^2 - (Q_n - \bar{Q})^2. \quad (5.6)$$

При будь-якому законі розподілу імовірності результату виміру ця оцінка є складовою, тому при $n \rightarrow \infty$ другий доданок у правій частині прагне до нуля, а перший – до σ_Q^2 . Але:

$$M\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n Q_i - \bar{Q}_n\right]^2 = \frac{n-1}{n}\sigma_Q^2, \quad (5.7)$$

тобто така оцінка є зміщеною. Незміщену оцінку можна одержати, помноживши її на коефіцієнт $\frac{n}{n-1}$. При $n \rightarrow \infty$ цей коефіцієнт прагне до 1, тому незміщена точкова оцінка дисперсії буде:

$$S_Q^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_n)^2, \quad (5.8)$$

при будь-якому законі розподілу імовірності результату виміру залишається складовою. Квадратний корінь з неї

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_n)^2} \quad (5.9)$$

і він називається стандартним відхиленням.

Оцінивши середнє значення \bar{Q} і середнє квадратичне відхилення σ_Q результату виміру, можна, використовуючи замість цих числових характеристик точкові оцінки \bar{Q}_n і S_Q , за правилом "трьох сигм" перевірити, чи не є деякі сумнівні значення Q_i помилковими. Коли виявиться, що вони відрізняються від середнього арифметичного \bar{Q}_n більше ніж на $3S_Q$, то їх варто відкинути. Після цього розраховуються остаточні значення \bar{Q}_n і S_Q .

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Викладач перевіряє готовність студентів до роботи і засвоєння ними теоретичних положень використання методу найменших квадратів.

2. Викладач знайомить студентів з порядком виконання експериментальної частини.

3. Перед початком виміру треба записати початковий відлік по двох лічильниках N_1 . Після закінчення деякого періоду часу, наприклад, 100 с виміру насос слід виключити і записати кінцеві показання стрілок лічильника N_2 .

4. Кількість пройдених стрілками поділок в одиницю часу визначають за формулою:

$$A = (N_2 - N_1)/T, \quad (5.10)$$

і заносять результати до протоколу 1 (табл. 5.1).

6. Студенти виконують розрахунки середнього арифметичного результату виміру.

7. Визначають стандартне відхилення результатів допоміжних розрахунків та зводять їх у третю й четверту графи протоколу 2 (табл. 5.2).

6. Визначають результати допоміжних розрахунків при повторному визначенні стандартного відхилення і заносять результати розрахунків у п'яту й шосту графи протоколу 2 (табл. 5.2).

ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Лабораторний стенд (рис. 5.1.) містить в собі насос 1 для перекачки рідини, резервуар з водою та два лічильники кількості спожитої рідини 3 і 4.

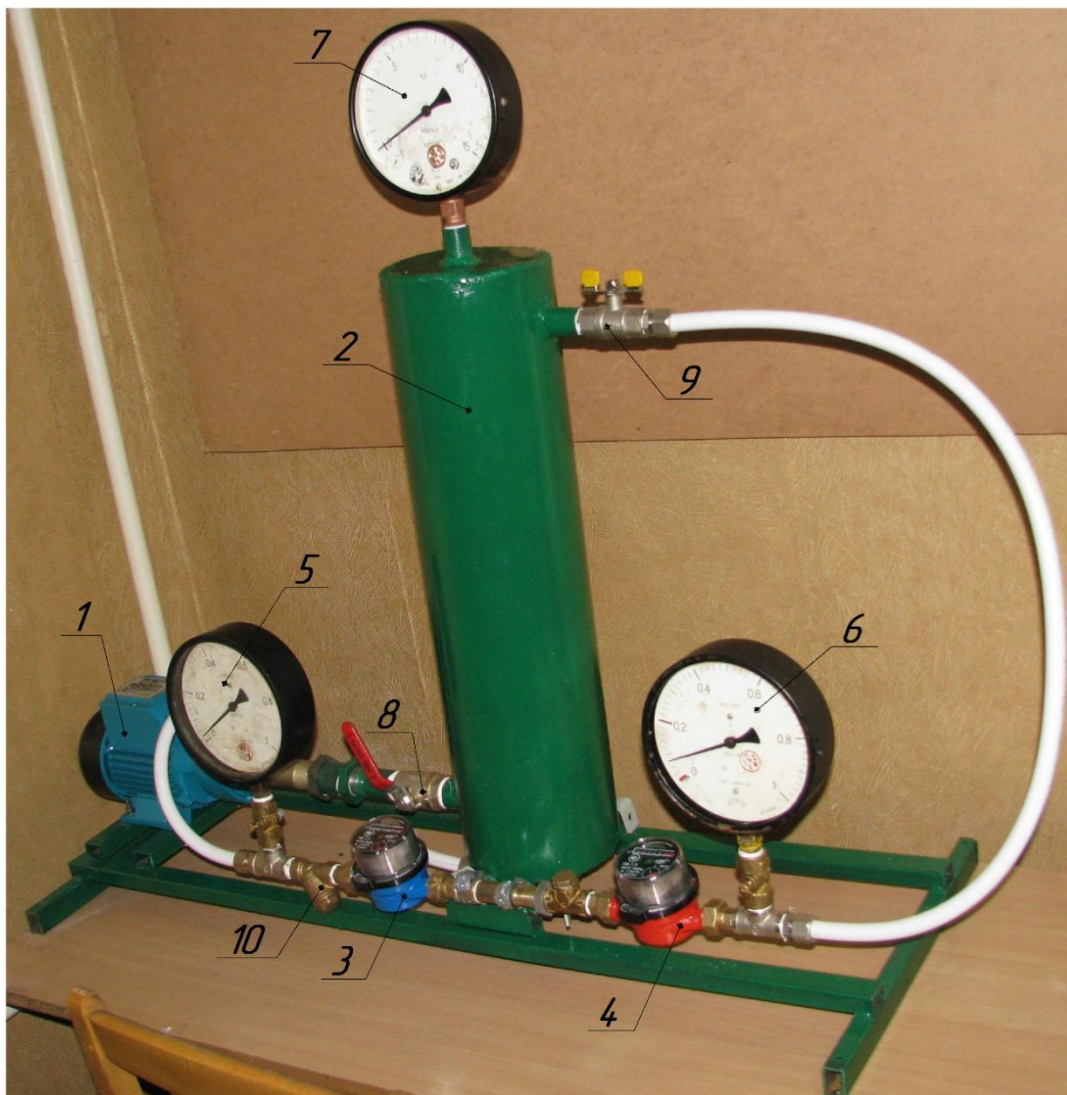


Рис. 5.1. – Лабораторний стенд: 1-насос; 2-бак; 3,4-лічильник води; 5-7-манометри; 8,9-крани; 10-фільтр.

Форми протоколів для занесення результатів вимірів і обчислень

Таблиця 5.1. Протокол 1. Результати вимірів

№ п/п	Відлік по шкалі анемометра		Час виміру T, с	Число поділок у секунду, A
	до виміру N ₁	після виміру N ₂		
1	2	3	4	5
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Таблиця 5.2. Протокол 2. Математична обробка результатів вимірів

<i>i</i>	A_i	$A_i - \bar{A}_{15}$	$(A_i - \bar{A}_{15})^2$	$A_i - \bar{A}_{15-X}$	$(A_i - \bar{A}_{15-X})^2$
1	2	3	4	5	6
1	2	0,1	0,01	2-	
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які оцінки числових характеристик називаються точковими?
2. З яких елементів складається лічильник води?
3. Як визначається число поділок в секунду за допомогою лічильника?
4. Яким вимогам повинні задовольняти оцінки числових характеристик?
5. Що називається складовою оцінкою числових характеристик?
6. Що називається незміщеною оцінкою числових характеристик?
7. Як визначається стандартне відхилення результатів вимірів?
8. Як за правилом „трьох сигм” перевіряють помилкові значення результатів вимірів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ТВЕРДИХ ТІЛ МЕТОДОМ ГІДРОСТАТИЧНОГО ЗВАЖУВАННЯ

МЕТА РОБОТИ: визначити густину твердого тіла методом гідростатичного зважування, визначити абсолютну і відносну похибки при проведенні непрямих вимірювань.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Метод гідростатичного зважування заснований на визначенні тієї втраченої ваги у вазі досліджуваного тіла, яка виникає при зануренні в рідину; ця втрата ваги дорівнює за законом Архімеда вазі рідини в обсязі тіла. У більшості випадків при цих вимірах використовують чисту дистильовану воду, густина якої відома. Метод гідростатичного зважування надзвичайно точний і тому на практиці він відіграє дуже велику роль як один з найбільш надійних методів визначення густини.

Густиною ρ тіла називається маса одиниця об'єму тіла, що визначається за формулою:

$$\rho = \frac{M}{W}, \quad (6.1)$$

де M – маса тіла, W – об'єм тіла, вага тіла G зв'язана з масою співвідношенням $G = mg$, g – прискорення вільного падіння. Тоді

питома вага тіла $\gamma = \rho g$. Застосовуючи формулу (3.1) до двох різних тіл, в однаковому об'ємі W , знаходимо: $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1}{M_2}$, де ρ_1 і ρ_2 – густини першого і другого тіла, M_1 і M_2 – їхні маси. Заміняючи в цій пропорції відношення мас тіл відношенням їхніх ваг у пустоті – G_1 і G_2 , знаходимо:

$$\rho_1 = \frac{G_1}{G_2} \rho_2, \quad (6.2)$$

Стосовно до даної роботи формула (3.2) приймає наступний вигляд:

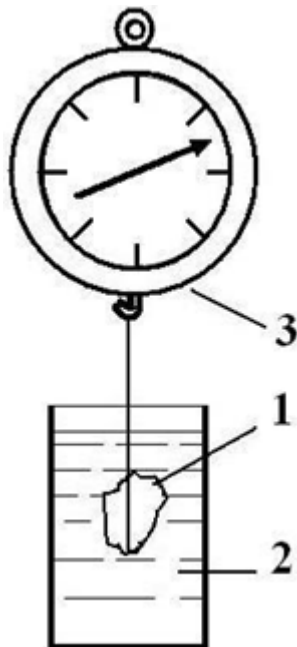
$$\rho_T = \frac{G_T}{G_B} \rho_B \quad (6.3)$$

де G_T і G_B – відповідно вага тіла і вага витиснутої їм води, приведені до пустоти, ρ_T – густина досліджуваного тіла, ρ_B – густина води при температурі спостереження. У таблиці 6.1 приведені значення густини води при різній температурі

Таблиця 6.1. Густина води

Температура, °C	0	4	10	20	30
Густина, кг/м ³	0,99987	1,00000	0,99973	0,99823	0,99567

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ



Лабораторна установка складається з досліджуваного тіла 1 (далі в тексті – тіло), резервуара з водою 2 і пружинних ваг 3 (рис. 6.1). Тіло необхідно зважувати два рази: один раз у повітрі і другий раз у воді. В останньому випадку тіло підвішують на тонкому дроті до гачка пружинних ваг і поміщають у резервуар з дистильованою водою, наливаючи її в таку кількість, щоб усе тіло і невелика частина дротика були занурені у воду. Одночасно необхідно визначити температуру води в циліндрі; температура тіла, що зважується, приймається рівній температурі води. Послідовно виконують наступні вимірювання:

1. Зважують тіло з точністю, обумовленою

точністю пружинних ваг. Оскільки питома вага тіла залишається невідомою, обчислити виправлення на втрату його ваги в повітрі по звичайній формулі було б важко; тому при зважуванні обмежуються визначенням ваги тіла в

повітрі; нехай вона виявилася рівною P_T . Що стосується ваги, приведеної до пустоти, тобто G_T , то, обчислюючи за законом Архімеда втрату у вазі тіла в повітрі, можна написати:

$$G_T = P_T + W \cdot \gamma_{\text{пов}} , \quad (6.4)$$

де $\gamma_{\text{пов}}$ – питома вага повітря.

Зважують тіло вдруге (з тією ж точністю) у воді, підвісивши його на тонкому дротику в резервуарі з дистильованою водою, як було зазначено; температуру води попередньо необхідно вимірити термометром. При зважуванні необхідно виконувати наступні умови: тіло має висіти вільно на дротику усередині води, не торкаючись дна або стінок резервуара; на поверхні тіла не повинно бути пухирців повітря; нарешті, через поверхню води, для зменшення капілярної дії повинна проходити тонка, тобто неперекручена частина дротика. У результаті зважування одержують (вдавану) вагу тіла у воді, не приводячи її до пустоти; нехай вона виявилася рівною P_1 .

Якщо занурена частина дроту у воду незначна, втрату ваги дроту можна не враховувати.

З результатів цих зважувань знаходимо вагу P води, витиснутої тілом; очевидно вона дорівнює:

$$P_B = P_T + P_1 , \quad (6.5)$$

причому це вираження дає (вдавану) вагу води, витиснутої тілом. Для того щоб знайти дійсну вагу G_B води, треба, відповідно до формули (6.4), до P_B додати знову величину $W \cdot \gamma_{\text{пов}}$, це впливає з того, що об'єми тіла і витиснутої їм води однакові, тобто величина виправлення на втрату їхньої ваги в повітрі також однакова. Тому можна написати:

$$G_B = P_B + W \cdot \gamma_{\text{пов}} , \quad (6.6)$$

Внаслідок цього з формули (6.3) на підставі формул (6.4) і (6.6) знаходимо:

$$\rho_T = \frac{P_T + W \cdot \gamma_{\text{пов}}}{P_B + W \cdot \gamma_{\text{пов}}} , \quad (6.7)$$

У цьому виразі залишається невідомою величина W – об'єм тіла (або води, що витісняється їм). Точне значення W можна одержати з виразу:

$$P_B = W(\gamma_B - \gamma_{\text{пов}}) , \quad (6.8)$$

де γ_B і $\gamma_{\text{пов}}$ – питома вага води і повітря при температурі спостереження. Визначаючи W з формули (6.8) і підставляючи його значення у вираз (6.7), знаходимо:

$$\rho_T = \frac{P_T \gamma_B - \gamma_{\text{пов}} + P_B \gamma_{\text{пов}}}{P_B \gamma_B} \rho_B \quad (6.9)$$

У правій частині (6.9) відношення питомих ваг (γ_B і $\gamma_{\text{пов}}$) можна замінити відношенням відповідних густин (ρ_B і $\rho_{\text{пов}}$); на підставі цього одержуємо остаточну формулу для обчислення густини тіла при даній температурі

$$\rho_T = \frac{P_T}{P_B} (\rho_B - \rho_{\text{пов}}) + \rho_{\text{пов}}, \quad (6.10)$$

Величина P_T (вага тіла в повітрі) визначається безпосередньо з першого зважування, величина P_B (вага води в обсязі тіла) обчислюється за формулою (6.5), а величини ρ_B і $\rho_{\text{пов}}$ (густина води і густина повітря при температурі спостереження) беруться з довідкових таблиць.

ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Температура води $t =$, $[t] =$ °C.

Густина води (при температурі t) $\rho_B =$, $[\rho_B] =$ кг/м³.

Густина повітря $\rho_{\text{пов}} = 1,293$ кг/м³.

Прискорення вільного падіння $g = 9,80665$ м/с².

Маса тіла (зважування в повітрі) $M_T =$, $[M_T] =$ кг.

Вага тіла (зважування в повітрі) $P_T =$, $[P_T] =$ Н.

Маса тіла (зважування у воді) M_T (у воді) = , $[M_T$ (у воді)] = кг.

Вага тіла (зважування у воді) $P_1 =$, $[P_1] =$ Н.

Вага води, витиснутої тілом $P_B =$, $[P_B] =$ Н.

Густина досліджуваного тіла $\rho_T =$, $[\rho_T] =$ кг/м³.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке фізична величина ?
2. Назвіть основні одиниці *SI* в установленому порядку, запишіть їхні розмірності.
3. Чим відрізняються прямі вимірювання від непрямих ?
4. Чим характеризують точність вимірювання ?
5. Що таке засіб вимірювання ?
6. Розкажіть про основні принципи вимірювання.
7. Розкажіть про класифікацію вимірювань.
8. Дайте визначення похибки вимірювання.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

«ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ»

МЕТА РОБОТИ: визначити величини параметрів шорсткості поверхні для запропонованої профілограми.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Шорсткість поверхні є однією з основних геометричних характеристик якості поверхні деталей і впливає на експлуатаційні показники. Вимоги до шорсткості поверхні повинні встановлюватися, виходячи з функціонального призначення поверхні для забезпечення заданої якості виробів.

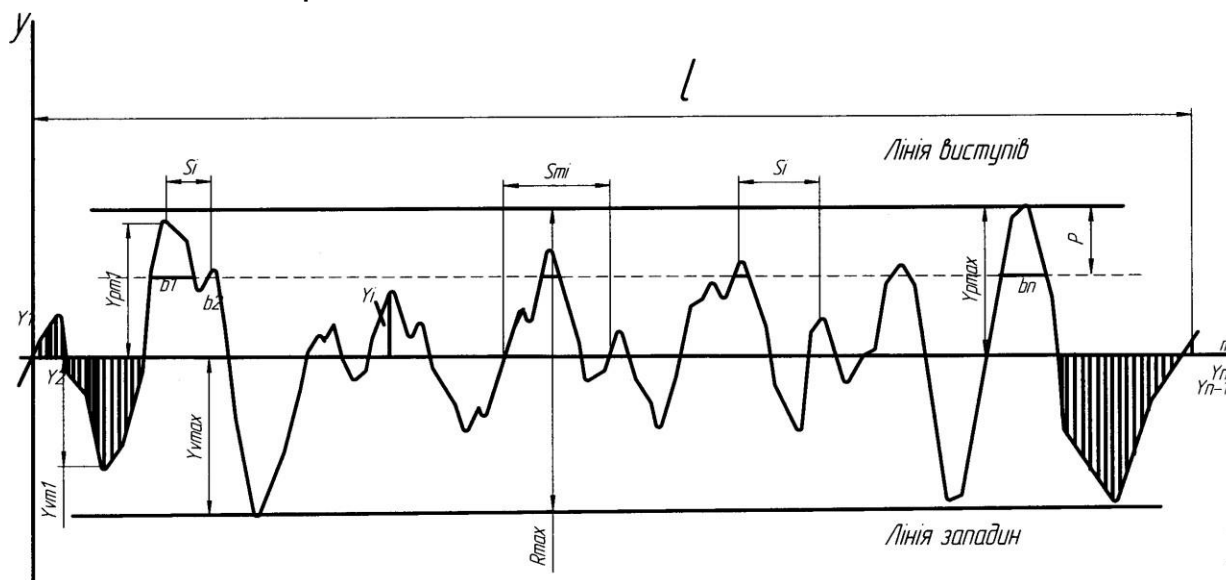


Рис. 7.1. Профілограма шорсткості поверхні.

Державний стандарт розроблений для забезпечення підвищених вимог до якості виробів шляхом повного урахування властивостей шорсткості поверхні і прогресивних методів їхнього нормування. Він встановлює вимоги до шорсткості поверхні незалежно від способу її одержання або обробки.

Шорсткість поверхні оцінюється по нерівностях профілю (частіше поперечного), одержаного шляхом перетину реальної поверхні площиною (найчастіше в нормальному перетині). Для відділення шорсткості поверхні від інших нерівностей з відносно великими кроками (відхилення форми і хвилястості) її розглядають для обмеженої ділянки (рис. 7.1), довжина якої називається базовою довжиною l . Базою для відліку відхилень профілю є середня лінія профілю m .

Для визначення параметрів шорсткості вводяться наступні величини:

- Відхилення профілю y - відстань між точкою профілю і базовою лінією.
- Лінія виступів профілю – лінія, еквідистантна середньої лінії, що проходить через найвищу точку профілю в межах базової довжини.
- Лінія западин профілю - лінія, еквідистантна середньої лінії, що проходить через найнижчу точку профілю в межах базової довжини.
- Висота виступу профілю Y_{pm} відстань від середньої лінії профілю до вищої точки виступу профілю (Y_{pmax} висота найбільшого виступу профілю).
- Глибина западини профілю Y_{vm} відстань від середньої лінії профілю до нижчої точки западини профілю (Y_{vmax} глибина найбільшої западини профілю).

Для кількісної оцінки і нормування шорсткості поверхонь встановлено шість параметрів: три висотних (R_{max} , R_z , R_a), два крокових (S_m , S) і параметр відносної опорної довжини профілю (t_p). Слід зазначити, що усі висотні параметри мають розмірність (мкм), а крокові – (мм).

1. Параметри шорсткості, зв'язані з висотними властивостями нерівностей.

R_{max} – найбільша висота нерівностей профілю

$$R_{max} = Y_{pmax} + R_{vmax} \quad (7.1)$$

де R_z – висота нерівностей профілю по десятих точках, або сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини;

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{pmi} + \sum_{i=1}^5 y_{vmi}}{5}, \quad (7.2)$$

де y_{pmi} - висота i -го найбільшого виступу профілю; y_{vmi} – глибина i -ї найбільшої западини профілю.

R_a – середнє арифметичне відхилення профілю, або в межах базової довжини;

$$R_z = \frac{1}{l} \int_0^l y(x) dx; \quad R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i; \quad (7.3)$$

де l - базова довжина, n - число обраних дискретних точок профілю на базовій довжині.

Параметри шорсткості, зв'язані з властивостями нерівностей у напрямку довжини профілю.

S_{mi} - крок нерівностей профілю – відрізок середньої лінії профілю, що містить нерівність профілю, або довжина відрізка середньої лінії, обмеженого точками перетинання цієї лінії однойменних сторін сусідніх нерівностей.

S_m - середній крок нерівностей профілю – середнє значення кроку нерівностей профілю по середній лінії (m) у межах базової довжини:

$$S_m = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} S_{mi}, \quad (7.4)$$

де n_m – число кроків у межах базової довжини.

S_i - крок нерівностей (місцевих виступів) профілю – відрізок середньої лінії між проекціями на неї найвищих крапок сусідніх місцевих виступів профілю, або відстань між вершинами характерних нерівностей у межах базової довжини.

S - середній крок нерівностей по вершинах профілю – середнє значення кроків нерівностей (місцевих виступів) профілю (по вершинах), що знаходяться в межах базової довжини:

$$S = \frac{1}{n_{pk}} \sum_{i=1}^{n_{pk}} S_i \quad (7.5)$$

де n_{pk} – число кроків у межах базової довжини.

t - відносна опорна довжина профілю – відношення опорної довжини профілю до базової довжини у відсотках

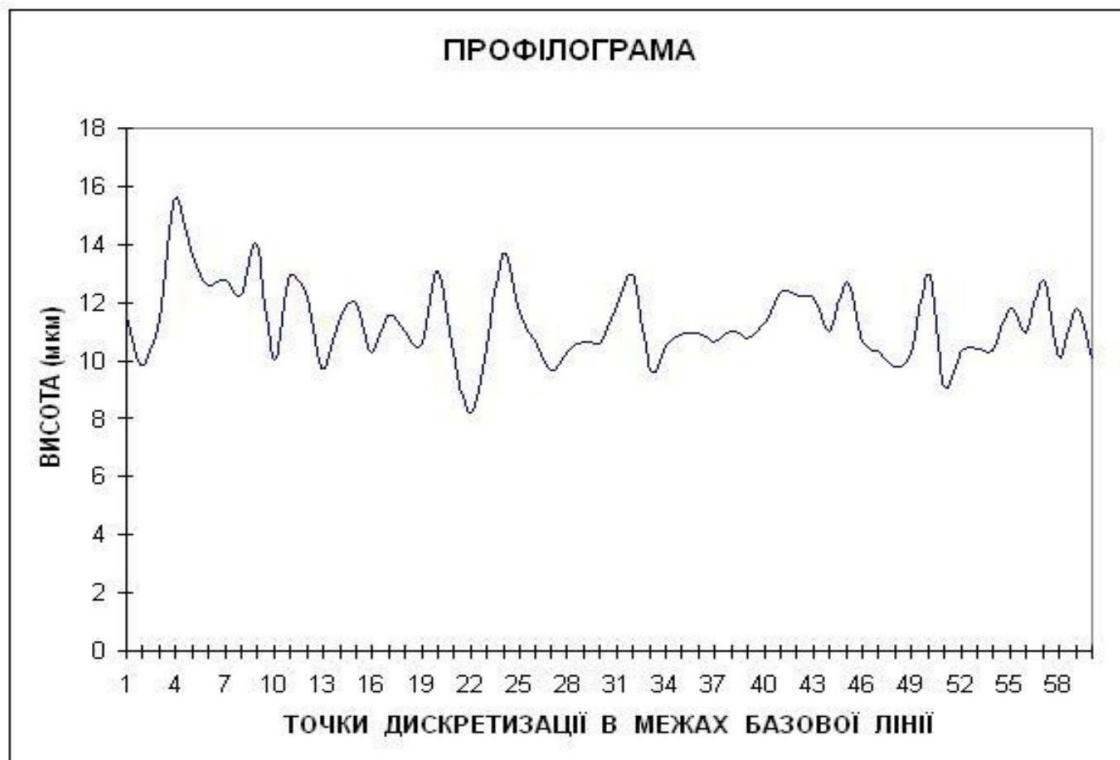
$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \cdot 100\% ,$$

Де η_p - сума довжин n_t відрізків, що відтинаються на заданому рівні.

В матеріалі профілю лінією, яка еквідистантна до середньої лінії в межах базової довжини;

$$\eta_p = \sum_{i=1}^{n_t} b_i \quad (7.6)$$

Рівень перетину профілю p – відстань між лінією виступів профілю і лінією, що перетинає профіль еквідистантно до лінії виступів (або середньої лінії) профілю, виражене у відсотках від R_{max} (P і R_{max} – у мкм), тобто;



$$p = \frac{P}{R_{max}} \cdot 100\%.$$

Рис. 7.2 Профілограма

Для визначення зазначених параметрів шорсткості пропонується профілограма, аналогічна представленої на рис. 7.2. з базовою довжиною $l = 25$ мм (у масштабі) і $n = 60$. Взагалі, базова довжина може приймати значення з наступного ряду: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм. На вертикальній осі приведені значення висот в мікрометрах.

ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для цієї роботи стадія отримання профілограми вважається відсутньою, тому порядок виконання роботи, обробка й аналіз результатів збігаються.

1. Визначається середня лінія m . Для цього на запропонованій профілограмі від довільної горизонтальної осі з зазначеними точками дискретизації до профілю вимірюються висоти x_i ($i=1, 2, \dots, n$). Положення середньої лінії m визначається за формулою;

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

а сама лінія викреслюється на аналізованій профілограмі. Тоді

відхилення профілю y_i - відстань між точкою профілю і базовою лінією – визначаються за формулою

$$y_i = x_i - m.$$

До протоколу лабораторних робіт записують величини x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) та відповідні до них величини y_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

2. Визначаються величини Y_{pmax} та Y_{vmax} .

3. Визначається параметр R_{max} за формулою (7.1).

4. Визначаються параметри R_z і R_a за формулою (7.3).

5. Визначаються параметри S_m і S за формулами (7.4) і

(7.5)

6. Визначаються параметри η_p і t_p для рівня p , обраного з запропонованого ряду: $p = (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70)$ % за формулою (7.6).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке відхилення форми поверхні ?
2. В чому різниця між хвилястістю та шорсткістю ?
3. Які параметри визначають при аналізі профілограми ?
4. В чому різниця між висотними та кроковими параметрами ?
5. Як впливають відхилення геометричних показників на взаємозамінність деталей?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

«КЛАСИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ЗНАКІВ ВІДПОВІДНОСТІ У МІЖНАРОДНИХ СИСТЕМАХ СЕРТИФІКАЦІЇ»

МЕТА РОБОТИ: ознайомитися зі структурою міжнародної системи сертифікації, провести аналіз класифікації знаків відповідності.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Стандартизація, метрологія, сертифікація – це складові технічного регулювання, що служать надійною основою для захисту прав споживачів.

Складовою частиною діяльності, що стосується технічного регулювання, стали системи **сертифікації** (від лат. *sertifico* - підтверджую, засвідчую; *certus* - безсумнівний і *facio* - робити, діяти, тобто «зроблена вірно»; від франц. *certificate*; англ. - *certification*) продукції та акредитації випробувальних центрів та лабораторій.

У точному змісті слова **сертифікація** — процедура підтвердження, за допомогою сертифіката або знаку відповідності деякого виробу, системи або послуги вимогам певного нормативного документа. Відповідно до положень закону про технічне регулювання підтвердження відповідності спрямоване на досягнення наступних цілей:

- посвідчення відповідності продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації й утилізації, робіт, послуг або інших об'єктів технічним регламентам, стандартам, умовам договорів;
- сприяння споживачам у компетентному виборі продукції, робіт, послуг;
- підвищення конкурентоспроможності продукції, робіт, послуг на внутрішньому й міжнародному ринках;
- створення умов для забезпечення вільного переміщення товарів по території України, а також для здійснення міжнародного економічного, науково-технічного співробітництва й міжнародної торгівлі.
- забезпечення комерційної таємниці відносно відомостей, отриманих при здійсненні підтвердження відповідності.

Сертифікат відповідності — це документ, виданий за правилами системи сертифікації, що повідомляє про забезпечення необхідної впевненості у том, що належним чином ідентифікована продукція (процес, послуга) відповідає конкретному стандарту або іншому нормативному документу. Сертифікат може ставитися до всіх вимог стандарту, а також до окремих розділів або конкретних характеристик продукту, що чітко обумовлюється в самому документі. Інформація, що представляється в сертифікаті, повинна забезпечити можливість порівняння її з результатами випробувань, на основі яких він виданий.

Знак відповідності - це захищений у встановленому порядку знак, застосований відповідно до правил системи сертифікації, який вказує на забезпечення необхідною впевненості у тому, що дана продукція (процес, послуга) відповідає конкретному стандарту або іншому нормативному документу. Звичайно в системах сертифікації діють правила по застосуванню знаку відповідності або національних стандартів, що регламентують застосування знаку відповідності державному стандарту. Дозвіл (ліцензія) на використання знаку

відповідності видається органом з сертифікації.

Якщо виріб сертифікований на безпеку, то він може маркуватися спеціальними знаками відповідності, які ставляться або до конкретних видів продукції, наприклад, електротехнічним побутовим приладам, або мають більше загальний характер, тобто інформують споживача про безпеку багатьох видів товарів.

Таблиця 8.1. Знаки відповідності країн світу

						
Австралія	Австрія	Бельгія	Велика Британія	Данія	Італія	Ірландія
						
Китай	Мексика	Нідерланди	Норвегія	Польща	Словаччина	Словенія
						
Німеччина	Фінляндія	Франція	Хорватія	Швейцарія	Швеція	Японія

Національні знаки відповідності стандартам реєструються національними органами стандартизації й сертифікації, прийняті й регулюються законодавчими актами окремих держав. Але їх можна зустріти не тільки на товарах вітчизняного виробництва. Також вони використовуються на імпортованих товарах для того, щоб підтвердити сертифікованість і якість даного продукту. Транснаціональні (регіональні) знаки використовуються в країнах певного регіону, ґрунтуючись на взаємному визнанні результатів сертифікації.

Виготовлювачі продукції будь-якої країни можуть, подавши заявку в національний орган стандартизації й сертифікації, одержати ліцензію на застосування знаку відповідності стандарту. Використання національних знаків відповідності стандартам без ліцензії не допускається.

Деякі види еко-маркування не поширюються на харчові продукти, напої, лікарські препарати і не повинні наноситися на речовини і матеріали, визнані небезпечними відповідно до законодавства ЄС, а також на вироби, в процесі виробництва яких міг здійснюватись шкідливий вплив на людей та навколишнє середовище.

У країнах ЄС діють національні системи еко маркування. Право

маркуватися знаком екологічного маркування отримає виключно продукція, яка пройшла екологічну сертифікацію і відповідає вимогам міжнародних екологічних стандартів які є значно вимогливіші ніж законодавчо встановлені норми.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Під час виконання роботи проаналізувати запропоновані викладачем знаки відповідності, надати їхні характеристики.

Проаналізувати знаки екологічного маркування (таблиці 8.2, 8.3), визначивши, яким країнам належать відповідні знаки, та як називаються наведені знаки.

Таблиця 8.2. Знаки екологічного маркування



В таблиці 8.3 наведені маніпуляційні знаки, які необхідно розшифрувати.

Таблиця 8.3. Маніпуляційні знаки



Виконання вимог охорони праці на промислових і транспортних виробництвах неможливо без розміщення знаків пожежної і промислової безпеки, інформаційних плакатів, евакуаційних і попереджувальних знаків.

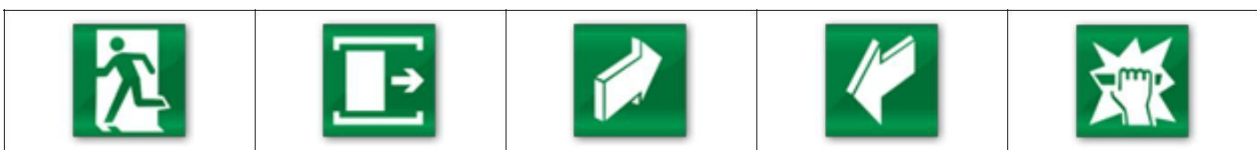
В таблиці 8.4 наведено знаки безпеки праці (навести назву або дію, що характеризує знак), які поділяються на чотири групи:

Заборонні, які призначені для заборони певних дій у визначених місцях або приміщеннях.

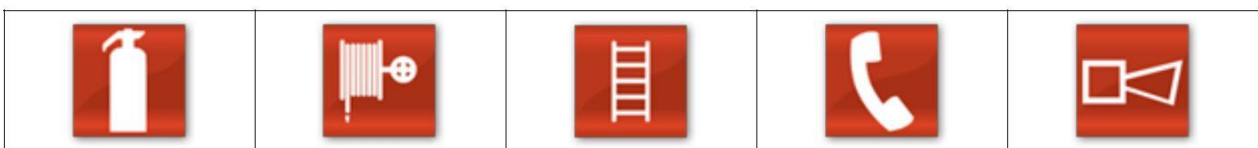
Попереджувальні, які призначені для попередження працівників про можливу небезпеку.

Таблиця 8.4 Знаки безпеки праці

Шляхи евакуації.



Обладнання для пожежогасіння. Засоби оповіщення про пожежу і засоби ручного керування - вказівні, які призначені для інформування про місце знаходження відповідних об'єктів та засобів.



КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення сертифікації.
2. Що таке знаки відповідності?
3. Які знаки відносяться до екологічного маркування?
4. Що таке маніпуляційні знаки?
5. На які групи поділяються знаки охорони праці?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Боженко Л.І. Стандартизація, метрологія, та кваліметрія у машинобудуванні: Навч. Посібник/ Боженко Л.І. -Львів: Світ, 2003.-238 с.
2. Боженко Л.І. Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація/ Боженко Л.І. - Львів: Афіша, 2004. – 324с.
3. Величко О.О. Основи метрології та метрологічна діяльність/ Величко О.О., Коцюба А.М., Новиков В.М. – К., 2000. - 228с.
4. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація та управління якістю: Підручник/ Саранча Г.А. , Якимчук Г.К. -К: Основа, 2004.-376 с.
5. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: Підручник/ Р.В. Бичківський, П.Г. Столярчук, П.Р. Гамула.-Львів: «Львівська політехніка», 2004.-560 с.
6. Законодавство України про стандартизацію, метрологію і сертифікацію.-К.: СП «Юрінком Інтер», 2003.-447 с.
7. Цюцюра С.В. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація: Навч. посіб.-2-ге видання, перероб. і доп./ Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д -К.: Знання, 2005.-242 с.
8. Лифиц И.М. Основы стандартизации, метрологи, сертификации: Учебник – М: Юрайт, 2000.-285 с.
9. Рего К.Г. Метрологическая обработка результатов технических измерений: Справ. Пособие.-К: Техніка, 1987.-128 с.
10. Международная система единиц измерений.-М.: Высшая школа, 1967.-287 с.
11. Земельман М.А. Метрологические основы технических измерений.- М.: Изд. стандартов, 1991 - 222с.
12. Сугачов О.Л. та ін. Метрологія і стандартизація: Навч. Посібник/ Сугачов О.Л. -Харків: Вид-во фарм. Академії, 1999-59с.
13. Полішко С.П. Точність засобів вимірювань/ Полішко С.П., Трубенюк О.Д. – К.: Вища школа, 1992-172с.
14. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники. – М.: Радио и связь. 1990-238с.
15. Захаров И.П., Теория неопределенностей в измерениях/ Захаров И.П., Кукуш В.Д. Учебное пособие. – Харьков: Консул. 2002.-225с.
16. Новиков В.М. Основи метрології та метрологічна діяльність/ Новиков В.М., Коцюба А.М. – К.: Нора-принт.2001. –210с.
17. Вайсбанд И.Д., Техника выполнения метрологических работ/ Вайсбанд И.Д., Пропенко В.М - К.: Техника, 1986-168с.
18. Ефремова Н.Ю. Оценка неопределенности в измерениях/ Ефремова Н.Ю. Минск: БелГИМ, 2003 – 50с.





Допоміжна

1. Закон України „Про метрологію та метрологічну діяльність”, УК № 54-55 від 21.03.1983 року
2. Декрет КМ України „ Про забезпечення єдності вимірювань” №40-93 від 26.04.93 р.
3. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення.
4. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення.
5. ДСТУ 3651.1-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення.
6. ДСТУ 3651.2-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характерні числа. Основні положення, позначення, назви та значення.
7. ДСТУ 3956-2000 Технічні засоби вимірювання та керування в промислових процесах. Частина 1. Основні поняття. Терміни та визначення.
8. Р 50-080-99 Метрологія. Системи вимірювальні інформаційні. Метрологічне забезпечення.

ДОДАТОК.

Додаток А

Обладнання для проведення практичних робіт

№ л.р.	Назва роботи	Загальний вигляд обладнання	Характеристика обладнання
1	Дослідження розмірів виробів методом збігу		<p>Плоскопаралельні кінцеві міри довжини (КМД №1). Щупи (набори №1-3). Калібри пробки гладкі, різьбові та скоби. Рівень водяний. Штангенциркулі (ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III). Глибиноміри штангові і мікрометричні (ГМ 25x0,01, ШГ-250x0,05). Мікрометри гладкі (МК 0-25, МК 25-50, МК 50-75, МК 150-175). Індикатор годинникового типу (ИЧ-10). Індикатор важільний годинникового типу (ИРБ 0-0,8 мм). Мікрометр важільний (МР 0-25x0,002). Мікрометр різьбовий (МВМ 0-25). Скло повірочне.</p>
2	Дослідження похибки вимірювань при зміні температурних параметрів		<p>Піч лабораторна муфельна ПМ-8. Цифровий прилад для вимірювання температури. Персональний комп'ютер з програмним забезпеченням.</p>
3	Дослідження похибок показників лічильників водопостачання		<p>Стенд для дослідження точності лічильників гарячої та холодної води. Лічильники води (КВ-1,5). Монометри (ОБМ1-160).</p>
4	Дослідження вимірювання похибки лабораторних ваг		<p>Ваги лабораторні чашкові. Набір ваг. Ваги електронні настільні Clatronic модель KW 3366 (0-5 кг. x0,001кг). Ваги електронні підлогові Scarlett модель SL 1558 (1-180кг x0,1кг). Персональний комп'ютер з програмним забезпеченням.</p>

5	Дослідження нормованих метрологічних характеристик лічильників спожитої електроенергії		Вольтметри і амперметри аналогові (стрілочні) постійного та змінного струму. Цифровий мультметр-тестер XL830L. Прилад для вимірювання сили струму цифровий DT-266F. Стенд для дослідження точності електrolічильників. Осцилограф аналоговий С1-65. Персональний комп'ютер з програмним забезпеченням.
6	Дослідження класу точності засобів вимірювання		Амперметри аналогові (стрілочні) постійного та змінного струму. Цифровий мультметр-тестер XL830L. Прилад для вимірювання сили струму цифровий DT-266F. Осцилограф аналоговий С1-65.
7	Моніторинг енергоощадності будівель та споруд		Тепловізор Fluke Ti100-13120026.
8	Оцінка системи обліку природного газу		Коректор об'єму газу OE-VPT. GSM/GPRS-модем Fargo Maestro 100 TCP/IP. Інтерфейс RS-232. GSM антена зовнішня. Прилад для симуляції витрати газу в трубопроводі. Персональний комп'ютер з програмним забезпеченням.

Додаток Б

ПЕРЕВОДНА ТАБЛИЦЯ ОДИНИЦЬ ТИСКУ

Одиниця тиску	Па	бар	атм	ат	psi	м вод. ст.	мм рт. ст.
Па	1	10^{-5}	$9,869 \cdot 10^{-6}$	$1,0197 \cdot 10^{-5}$	$1,45038 \cdot 10^{-4}$	$1,0197 \cdot 10^{-4}$	$7,50062 \cdot 10^{-3}$
бар	10^5	1	0,9869	1,0197	14,5038	10,1972	750,062
атм	101325	1,0133	1	1,0333	14,6959	10,3323	760
ат	98066,5	0,9807	0,9678	1	14,2233	10,0	735,559
psi	6894,77	0,0689	0,06805	0,0703	1	0,7031	51,7152
м вод. ст.	9806,65	0,0981	0,09678	0,1	1,42233	1	73,5559
мм рт. ст.	133,323	$133,323 \cdot 10^{-5}$	$1,3158 \cdot 10^{-6}$	$1,3595 \cdot 10^{-3}$	0,01934	0,0136	1

ПЕРЕВОДНА ТАБЛИЦЯ ОДИНИЦЬ ОБ'ЄМНИХ ВИТРАТ

Одиниця	м ³ /с	м ³ /хв	м ³ /год	л/с	л/хв	л/год
м ³ /с	1	60	3600	1000	60000	3600000
м ³ /хв	1,6667·10 ⁻²	1	60	16,6667	1000	60000
м ³ /год	2,7778·10 ⁻⁴	1,6667·10 ⁻²	1	0,2778	16,6667	1000
л/с	0,001	0,06	3,6	1	60	3600
л/хв	1,6667·10 ⁻⁵	0,001	0,06	1,6667·10 ⁻²	1	60
л/год	2,7778·10 ⁻⁷	1,6667·10 ⁻⁵	0,001	2,7778·10 ⁻⁴	1,6667·10 ⁻²	1

ДЕСЯТКОВІ КРАТНІ ТА ЧАСТИННІ ВІД ОДИНИЦЬ SI

Множник	Написання	Найменування		Позначення	
10 ⁶	1000000,0	мега	mega	М	М
10 ³	1000,0	кіло	kilo	к	k
10 ²	100,0	гекто	hecto	г	h
10 ¹	10,0	дека	deca	да	da
10 ⁻¹	0,1	деці	deci	д	d
10 ⁻²	0,01	санті	centi	с	c
10 ⁻³	0,001	мілі	milli	м	m
10 ⁻⁶	0,000001	мікро	micro	мк	μ

Співвідношення окремих одиниць довжини, площі, об'єму та маси з одиницями системи СІ

1 Найменування одиниці, що не входить до системи СІ	2 Перераховане значення в одиницях системи СІ
Одиниці довжини	
1 миля морська (міжнародна)	= 1852 м
1 миля морська (британська)	= 1853.18 м
1 миля уставна або законна (Statute mile)	= 1609.344 м
1 миля російська = 7 верстам	= 7,4676 км
1 верста = 500 сажням	= 1066,80 м
1 сажень = 3 аршинам = 7 футам	= 2,1336 м
1 аршин = 16 вершкам = 28 дюймам	= 0,7112 м

1 фут = 12 дюймам	= 304,8 мм
1 дюйм = 10 лініям	= 25,4 мм
1 вершок	= 44,38 мм
1 лінія велика = 10 точкам	= 2,54 мм
1 лінія мала	= 2,117 мм
1 точка	= 0,254 мм
1 миля (британська)	= 0.0254 м
1 калібр	= 0.254 мм
1 кабельтов (міжнародна)	= 185.2 м
1 нейл	= 0.05715 м
1 долоня (хенд)	= 0.1016 м
1 лінк (ланцюжок)	= 0.201168 м
1 спен	= 0,2286 м
1 ярд	= 0,9144 м
1 фатом (морський сажень)	= 1,8288 м
1 род = 1 поль = 1 перч	= 5,0292 м
1 чейн (мірний ланцюг)	= 20,1168 м
1 чейн інженерній	= 30,48 м
1 фарлонг	= 201,168 м
1 куйбіт (локоть)	= 0457199 м
1 ліга морська (міжнародна)	= 5560,08 м
1 ліга лондонська	= 5559,56 м
1 ліга законна (США)	= 4828,032 м
Одиниці площі	
1 квадратна верста = 250 000 квадратним сажням	= 1,1381 км ²
1 квадратний сажень = 9 квадратним аршинам = 49 квадратним футах	= 4,552 м ²
1 квадратний аршин = 256 квадратним вершкам = 784 квадратним дюймам	= 0,5058 м ²
1 квадратний фут = 144 квадратним дюймам	= 929 см ²
1 квадратний вершок	= 19,685 см ²
1 ар (сотка)	= 100 м ²
1 гектар	= 10000 м ²
1 акр	= 4046,856 м ²
Одиниці об'єму кубічні	
1 кубічна верста = 125 • 10 ⁶ кубічним сажням	= 1,214 км ³
1 кубічний сажень = 27 кубічним аршинам = 343 кубічним	= 9,691 м ³

футам	
1 кубічний аршин = 4096 кубічним вершкам = 21952 кубічним дюймам	= 0,3595 м ³
1 кубічний фут = 1728 кубічним дюймам	= 0,0283м ³
1 кубічний вершок	= 87,38 см ³
Одиниці об'єму (місткості) для рідин і сипких тіл	
1 галон імперський (англійський)	= 4,54609 л
1 галон сухий (США)	= 4,404884 л
1 галон для рідини (США)	= 3,78541 л
1 барель сухий (США)	= 115,628 л
1 барель сухий (англійський)	= 163,65 л
1 барель для рідини (англійський)	= 181,7 л
1 барель нафтовий (США)	= 158,988 л
1 барель для спиртних напоїв (США)	= 119,23695 л
1 унція для рідини (англійська)	= 0,028413 л
1 унція для рідини (США)	= 0,0295737 л
1 пінта суха (англійська)	= 0,473179 л
1 пінта суха (США)	= 0,550614 л
1 пінта для рідини (англійська)	= 0,568261 л
1 пінта для рідини (США)	= 0,473179 л
1 кварта суха (США)	= 1,10123 л
1 кварта для рідини (США)	= 0,94636 л
1 кварта імперська (англійська)	= 1,13652 л
1 бушель імперський (англійський)	= 36,3687 л
1 бушель США винчестерський	= 35,2391 л
1 пек (англійський)	= 9,09218 л
1 пек (США)	= 8,809768 л
1 бочка = 40 відром	= 491,97636 л
1 відро = 4 четвертям = 10 штофам	= 12,29904 л
1 четверть = 2,5 штофа = 5 пляшкам (горілчаним)	= 3,07476 л
1 штоф (кухлі) = 2 пляшкам (горілчаним)	= 1,229904 л
1 пляшка (горілчана) = 5 чаркам	= 0,6149875 л
1 пляшка (вина) = 1/16 відра = 12,5 шкалика	= 0,7687344 л
1 чарка = 2 шкаликам	= 0,123л
1 шкалик	= 0,06149875 л
1 четверть = 8 четверикам	= 209,9099 л
1 осьмина	= 104,9579 л

1 четверик (міра) = 8 гарнцям	= 26,2387 л
1 гарнець	= 3,2798 л
Одиниці ваги (маси)	
1 берковець = 10 пудам	= 163, 80496 кг
1 центнер	= 100 кг
1 пуд = 40 фунтам	= 16,3805 кг
1 фунт = 32 лотам	= 409,51241 г
1 лот = 3 золотникам	= 12,797 г
1 золотник = 96 долям	= 4,2657г
1 доля	= 0,0444 г
1 карат	= 0,2 г
1 драхма (англійська)	= 1,555174 г
1 аптекарська і трійська драхма	= 3,88793 г
1 торгівельна унція	= 28,34953 г
1 аптекарська і трійська унція	= 31,1035 г