

**Міністерство освіти і науки України**  
**Чернівецький національний університет**  
**імені Юрія Федьковича**

# **Основи метрології**

**Навчальний посібник**

**Солтис І.В., Деревянчук О.В.**

**Чернівці**

**2021**

**УДК 006.91(075)**

**Друкується за ухвалою Ученої ради  
Чернівецького національного університету  
імені Юрія Федьковича  
(протокол № 12 від 01.12.2021 року)**

**Рецензенти:**

**Виклюк Я.І.** доктор техн. наук, професор кафедри систем штучного інтелекту НУ «Львівська політехніка»

**Федів В.І.** доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри біологічної фізики та медичної інформатики Буковинського державного медичного університету

О Основи метрології: навчальний посібник / автори.: І.В. Солтис, О.В. Деревянчук, Чернівці: Чернівецький нац. ун-тет, 2021, 152 с.

Навчальний посібник містить основні поняття, терміни та положення метрології, теорії вимірювань, загальну інформацію про засоби вимірювального обладнання та його метрологічні характеристики. Детально розглянуті питання теорії похибок вимірювання. Висвітлено основи метрологічної діяльності в Україні та світі.

Навчальний посібник призначений для студентів вищих закладів освіти за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, 186 Видавництво та поліграфія, 015.11 Професійна освіта (машинобудування), 014.10 Середня освіта (трудове навчання та технології).

**УДК 006.91(075)**

**Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича, 2021**

## РЕФЕРАТ

Навчальний посібник містить основні поняття, терміни та положення метрології, теорії вимірювань, загальну інформацію про засоби вимірювального обладнання та його метрологічні характеристики. Детально розглянуті питання теорії похибок вимірювання. Висвітлено основи метрологічної діяльності в Україні та світі.

Ключові слова: вимірювання, фізична величина, повірка, засоби вимірювальної техніки

## ЗМІСТ

### РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ПОНЯТТЯ І

ТЕРМІНИ.....	6
1.1 Поняття і терміни.....	6
1.2 Фізична величина.....	8
1.3 Одиниця фізичної величини.....	15
1.4 Вимірювання фізичних величин.....	22
1.5 Результат вимірювань та його характеристики.....	30
1.6 Засоби вимірювань.....	36
1.7 Метод і методика вимірювань.....	43
1.8 Похибки вимірювання.....	50
1.9 Похибка засобів вимірювальної техніки.....	64
1.10 Умови вимірювання.....	69
1.11 Єдність вимірювань та її забезпечення.....	70
1.12 Метрологічна атестація, перевірка та державні випробування засобів вимірювань.....	72
1.12.1 Калібрування вимірювальних приладів.....	72
1.12.2 Державні випробування засобів вимірювальної техніки.....	86
1.12.3 Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки.....	87
1.13 Еталони. Зразкові засоби вимірювальної техніки. Повірочні схеми.....	90
2 ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН.....	93

2.1 Міжнародна система одиниць SI.	
Основні положення.....	96
2.1.1 Основні переваги SI.....	96
2.1.2 Одиниці та числові значення фізичних величин.....	97
2.1.3 Рівняння для величин та рівняння для їх числових значень.....	99
2.1.4 Розмірності величин.....	101
2.1.5 Кратні та часткові одиниці SI.....	103
2.1.6 Основні одиниці SI.....	111
2.1.7 Похідні одиниці SI.....	114
2.2 Позасистемні одиниці, які застосовуються нарівні з одиницями SI.....	117
2.3 Позасистемні одиниці, які тимчасово допускаються до використання нарівні з одиницями SI.....	123
2.4 Одиниці, підлягаючі вилученню .....	125
2.5 Правила написання символів величин, назв та позначень одиниць.....	125
3 ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ.....	137
3.1 Основні поняття та принципи метрологічного забезпечення.....	137
3.2 Формування метрологічних служб.....	147
3.3 Міжнародне метрологічне забезпечення.....	150
Список цитованої літератури.....	155

# РОЗДІЛ 1.

## ОСНОВНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ПОНЯТТЯ І ТЕРМІНИ

### 1.1 Поняття і терміни

Метрологія, як і будь-яка інша наука оперує фактами. До них належать: фізичні величини, одиниці фізичних величин, засоби вимірювальної техніки (еталони, зразкові засоби вимірювальної техніки та робочі ЗВТ), методи та методики вимірювання, результати вимірювання, похибки вимірювань і засобів вимірювальної техніки та інші.

Підґрунтям для виникнення поняття є практичний досвід, на основі якого відбувається узагальнення розумової діяльності. Поняття передаються за допомогою слів або словосполучень, які зветься **термінами**.

Терміни різняться від повсякденної мови наявністю спеціалізованого, точно визначеного наукового значення. **“Термін** – слово або словосполучення покликане точно позначати поняття та його співвідношення з іншими поняттями в межах спеціальної сфери” (БСЭ, 3-е изд., т. 25, с. 473-474). В нашій країні затверджено та надано чинності наказом Держстандарту України № 189 від 26 липня 1994

року державний стандарт ДСТУ 2681–94 “Державна система забезпечення єдності 9 вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення”.

Даний стандарт визначає терміни та визначення понять у сфері метрології та метрологічного забезпечення. Терміни, регламентовані в даному стандарті, обов’язкові для використання у всіх типах нормативної документації, у довідковій, навчально-методичній, науково-технічній літературі, що стосується метрології та метрологічного забезпечення; для робіт в галузі стандартизації, а також при застосуванні результатів таких робіт, включно з програмними засобами комп’ютерних систем. Вимоги стандарту дійсні для застосування в роботі підприємства, установи, організації, що діють на території України, міністерств та відомств, технічних комітетів зі стандартизації, інженерних, науково-технічних та товариств.

Іншими словами, терміни - це мова науки, і без знання мови неможливо спілкуватися, накопичувати знання, розвиток тощо. Розглянемо основні та похідні терміни та поняття метрології, визначення яких наведено згідно з ДСТУ 2681-94, та зображено на схемі логічно пов’язаних елементів вимірювання (рис. 1.1).

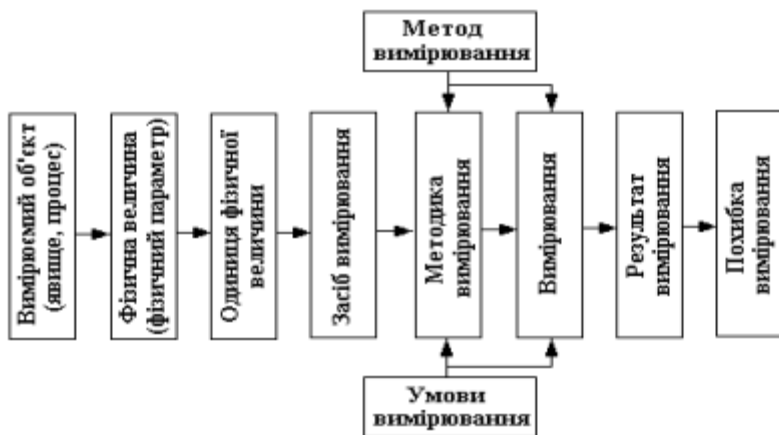


Рис. 1.1. Основні та похідні терміни та поняття метрології

## 1.2 Фізична величина

Хоча поняття " величина" широко розповсюджене, знайти його чітке означення не так просто.

Одне з перших означень - “величина - все те, що володіє здатністю збільшуватися і зменшуватися”. Однак воно надто широке, охоплює фізичні (об’єм, маса, і т. д.) та нефізичні (апетит, розум, і т. д.) величини і застосовне до таких понять як родючість ґрунту державний бюджет, тощо. Широке охоплення такого поняття є перешкодою у вивченні величин і формуванню теорії вимірювань. Велика енциклопедія пропонує вужче визначення цього поняття:

“Величина – одне з основних математичних понять”. Водночас поняття “величина”, у підручниках математики відсутнє, хоча воно використовується весь час (числове значення, абсолютна величина, тощо).

**Величина** - це аж ніяк не об’єкт, а міра однієї з нескінченної кількості властивостей об’єкта. В. І. Даль дав досить вдале визначення поняття "розмір": "все, що вимірюється і обчислюється, будь-яка властивість, яка не становить якості: кількість, вага, міра, кількість, об’єм, міра".

Аналіз величин, що використовуються у математиці, фізиці та інших науках, і нефізичних величин, показує, що їх можна розділити на два типи (рис. 1.2): реальні величини (величини матеріального світу) та ідеальні величини (величини моделей ідеальної реальності).

Аналіз величин, якими оперують математика, фізика та інші науки, а також так званих нефізичних величин, показує, що їх можна розділити на два види (рис. 1.2): величини матеріального світу (реальні величини) та величини ідеальних моделей дійсності (ідеальні величини).



Рис.1.2. Види величин, якими оперує метрологія

**Реальними є величини** - що містяться у фізичних або хімічних рівняннях (фізичних величинах), значення яких, стосовно конкретного об'єкта чи явища, можна отримати лише шляхом вимірювань. Реальними є також нефізичні величини, які використовуються в соціології, економіці, психології та інших подібних галузях. Вони визначаються шляхом оцінки або розрахунку.

**Математичними є величини**, котрі належать до ідеального світу. Вони відрізняються принципово від реальних тим, що не піддаються змінам через вплив зовнішніх факторів і для їх визначення не потрібні технічні

вимірювальні прилади, а їх значення не містять помилок і отримуються шляхом розрахунку.

Що стосується метрології, то на законодавчому рівні введено поняття єдиної фізичної величини - властивості, яка є якісно поширеною у багатьох матеріальних об'єктах і кількісно індивідуальною в кожному з них.

За визначенням, фізична величина може бути якісно властивою багатьом матеріальним об'єктам, процесам чи явищам. Наприклад, фізичне значення довжини є властивістю кожного продукту та землі як планети. Кількісно фізична величина - це індивідуальна властивість певного об'єкта. Враховуючи тривимірність нашого світу, існує довжина, ширина та висота об'єкта. За цими значеннями можна судити про різницю між об'єктами. Насправді вимірюються загалом не фізичні величини, а фізичні величини, властиві певним об'єктам, явищам та процесам, тобто величинам з обмеженими розмірами. Власне кажучи, вимірюється "розмір фізичної величини". Розмір фізичної величини (коротше: розмір кількості) - це кількісний вміст фізичної величини в певному об'єкті. Числове значення фізичної величини є результатом її вимірювання. Наприклад, при вимірюванні температури в

потрійній точці води буде отримано результат 273,16 °К.  
Число 273.16 – числове значення.

Числове значення фізичної величини змінюється залежно від обраної одиниці, тоді як розмір залишається незмінним. Вимірювання переміщення за допомогою вимірювальних приладів, відкаліброваних у метрах, сантиметрах або міліметрах, призводить до різних числових значень (наприклад, 1,1 м, 110 см або 1100 мм), які характеризують однакове переміщення. тобто дорівнює розміру фізичного розміру.

**Числове значення фізичної величини** - це число, яке відповідає відношенню розміру вимірюваної фізичної величини до одиниці розміру цієї фізичної величини, або кратній (частковій) одиниці.

**Значення фізичної величини** це відображення фізичної величини у вигляді числового значення величини з її одиницею. Це справжнє значення величини. Однак через помилки у вимірювальних приладах та методах, коливання зовнішніх умов, що спричиняють додаткові помилки в результаті вимірювання, отримане значення, власне кажучи, не буде відповідати справжньому значенню. Справжнє (істинне) значення завжди залишається

невідомим. Однак це поняття вводить в теорію вимірювань, оскільки дозволяє більш повно розкрити поняття "похибка вимірювання".

Справжнє значення фізичної величини (коротше, істинне значення величини або справжнє значення) - це значення фізичної величини, яке в ідеалі відображало б певну властивість об'єкта. В результаті вимірювання отримується значення фізичної величини, близьке до істинного значення, яке позначається як умовно істинне значення фізичної величини або як реальне значення фізичної величини (коротше - умовно істинне значення кількості). Значення експериментально знайденої фізичної величини, яке можна використовувати замість істинного для цієї мети.

Для дійсного значення у випадку кількох прямих вимірювань візьміть середнє арифметичне ряду значень, отриманих в окремих вимірах - значення, отримане за допомогою більш точного технічного вимірювання (наприклад, зразковий прилад для вимірювання).

При проведенні точних вимірювань використовуються терміни «вимірювана фізична величина» та «впливова фізична величина». Вимірювана фізична

величина (коротко виміряна величина) - фізична величина або параметр її залежності, яку слід виміряти, виміряти або виміряти відповідно до основної мети завдання вимірювання.

**Впливна фізична величина** (коротко: впливає на величину) - фізична величина, яка впливає на результат вимірювання, але не є вимірюваною величиною. Наприклад, при вимірюванні довжини деталі враховується її температура, що в даному випадку є важливою змінною. Якщо температура відхиляється від встановленого значення, починається корекція температури або вказується температура вимірювання.

**Фізичний параметр** (скорочено - параметр) - фізична величина, що описує часткову ознаку вимірюваної фізичної величини. Наприклад, при вимірюванні змінної напруги в якості параметрів напруги враховуються амплітуда, фаза та частота.

**Рід фізичної величини** (скорочено - рід кількості) - якісне визначення фізичної величини. Наприклад, довжина і діаметр - подібні або однорідні розміри, довжина і маса однієї частини - неоднорідні розміри. Значення змінної - це фізична змінна, розмір якої змінюється в процесі

вимірювання. Відповідно, постійне значення - це фізична змінна, розмір якої можна розглядати як незмінну в умовах завдання на вимірювання протягом часу, необхідного для вимірювання.

### **1.3 Одиниця фізичної величини**

В історії розвитку одиниць фізичних величин є суб'єктивні та об'єктивні одиниці. Суб'єктивні одиниці довжини - найдавніші. Вони були ідентифіковані в більшості випадків за назвами частин людського тіла: дюйми (довжина суглоба великого пальця), долоня (ширина чотирьох пальців, за винятком великого пальця), невеликий проміжок (відстань між кінцями прикладеного великого пальця та середній). Палець), великий палець (відстань між кінцями прикріпленого великого і мізинця), стопа (довжина стопи), сходинка і т. Д. Суб'єктивними одиницями площі були колодязь (площа, яку можна поливати з криниці), слов'янський плуг або плуг (середня площа), який можна обробити плугом або плугом за один день) та інші.

У XIV - X VI ст. суб'єктивні одиниці замінювались об'єктивними. Так в Англії в XIV ст. дюймів (відповідає довжині трьох сусідніх зерен ячменю), фути (ширина 64

зерен ячменю поруч) легалізовані. Одиницями маси були гран (маса зерна) та карат (маса насіння одного із сортів квасолі). Пізніше з'явилися спряжені одиниці, тобто одиниці, які існують у певних відносинах: миля, двір, фут, дюйм (1 миля = 1760 ярдів, 1 ярд = 3 фути, 1 фут = 12 дюймів).

Оскільки в X VII - X VIII століттях їх міри використовували не лише різні держави, але і провінції в межах однієї держави. в Європі панував хаос з точки зору мір і одиниць. Наприклад, для вимірювання довжини використовували близько 50 миль різних розмірів і близько 100 футів, понад 120 різних фунтів - для вимірювання маси тощо.

Розвиток торгівлі та промисловості вимагав усунення двозначності одиниць. Спроба вирішити цю проблему призвела до створення метричної системи вимірювань, яка виникла у Франції в середині 10-го і 8-го століть. і був прийнятий 8 травня 1790 р. французькою Національною асамблеєю. Метрична система вимірювання складалася з одиниць довжини, площі, об'єму та маси. Виходячи з одиниці довжини, лічильника, він називається метричним.

Вимірювач був отриманий шляхом вимірювання довжини паризького меридіана (від Барселони до Дюнкерка) методом триангуляції і визначається як одна сорокамільйонна частина цього меридіана.

Одиниця маси кілограма спочатку визначалася як маса чистої води об'ємом 1 дм<sup>3</sup> при температурі 4 ° С. Одиницями вимірювання площі та об'єму вважали 1 м<sup>2</sup> та 1 м<sup>3</sup>. Одночасно було введено десятковий підрозділ на множинні та дробові частини та введені префікси: милі - ( $1 \cdot 10^{-3}$ ), санти - ( $1 \cdot 10^{-2}$ ), деци - ( $1 \cdot 10^{-1}$ ), дека - ( $1 \cdot 10^1$ ), гекто - ( $1 \cdot 10^2$ ), кіло - ( $1 \cdot 10^3$ ).

Потім була вдосконалена метрична система вимірювання. Після підписання Метричної конвенції 20 травня 1875 р. Вона отримала міжнародне визнання. Того ж року було засновано Міжнародне бюро мір та ваг (IWB). Відразу після підписання Метричної конвенції розробляються різні системи одиниць для різних діапазонів вимірювань: GHS (см, г, с), МКС (м, кг, с), ICGSS (м, кг сили, с), ICSG (м, кг, с, градуси температурної шкали), абсолютна гауссова система СГС тощо. Тут також виникла проблема стандартизації одиниць. У 1954 р. На Генеральній конференції з ваг і мір (XCMW) була прийнята практична система основних одиниць міжнародних відносин: метр -

одиниця довжини; Кілограм - одиниця маси; друга - одиниця часу; Ампер - одиниця сили струму; Градуси Кельвіна - одиниця термодинамічної температури і свічка - одиниця світла.

У 1960 р. XI GCMV остаточно прийняв Міжнародні системи об'єднань (SI, SI). Міжнародна система одиниць складається з 6 основних одиниць, 2 додаткових одиниць, 27 похідних та 12 префіксів для утворення множинних та часткових одиниць. Надалі його також доповнювали та вдосконалювали.

В даний час кожна одиниця оцінюється в термінах СІ. Тому, крім поняття "одиниця", у практиці вимірювань використовується ряд інших понять. Ось ти. Одиниця фізичної величини (одиниця кількості або коротко одиниця) - це фізична величина певної величини, яка приймається умовно за домовленістю для кількісного подання однорідних величин і їй присвоюється числове значення, рівне 1.

Система одиниць фізичних одиниць (скорочено - система одиниць або система одиниць) - сукупність одиниць певної системи фізичних величин. Наприклад, GHS, ISS, SI та ін Системна одиниця фізичної величини

(скорочено - системна одиниця розміру або системна одиниця) - одиниця фізичної величини, яка є частиною прийнятої системи одиниць. Наприклад: 1 м, 1 с, 1 м/с, 1 Н тощо - це системні одиниці.

Позасистемна одиниця фізичної величини (скорочено - позасистемна одиниця виміру або позасистемна одиниця) - одиниця фізичної величини, яка не належить до цієї системи одиниць. Що стосується одиниць СІ, то несистемні одиниці поділяються на три типи:

- одиниці, які дозволено використовувати на рівні одиниць СІ (тонна, літр, хвилина, година, день, ...), сюди також входять безрозмірні відносні та логарифмічні одиниці (% , непер, білий, октава, ...);

- одиниці, які тимчасово затверджені для використання до прийняття відповідних міжнародних норм (морська миля, ангстрем, ар, гектар, бар, рентген ...), сюди також входять пристрої, які затверджені лише для спеціальних областей науки, техніки та економіки (світловий рік в астрономії, раса в геодезії, текс у текстильній промисловості, диня, стоки, ерг, калорії у фізиці; ...);

- одиниці, вилучені з використання (усі інші несистемні блоки, крім згаданих вище). Для отримання додаткової інформації про несистемні одиниці дивіться Розділ 2.

Основною одиницею системи одиниць є одиниця фізичного базового розміру в певній системі розмірів. На даний момент основними одиницями СІ є: метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, моль, кандела.

Похідна одиниця системи одиниць - це одиниця похідної від фізичної величини в конкретній системі одиниць, яка утворюється відповідно до рівняння, яке пов'язує її з базовими одиницями або з основною та існуючою похідною чи додатковими одиницями. Наприклад, одиниця лінійної швидкості, одиниця кутового прискорення тощо.

Кратна одиниця фізичної величини - це одиниця фізичної величини, яка в рази більша за одиницю, з якої вона утворена. Приклад: одиниця частоти 1 МГц (мегагерц) = 10<sup>6</sup> Гц, одиниця довжини 1 км (кілометри) = 10<sup>3</sup> м тощо.

Часткова одиниця фізичної величини - це одиниця фізичної величини, яка є цілим кратним, меншим за одиницю, з якої вона утворена. Наприклад: Одиниця

довжини 1 мкм (мікрометр) =  $10^{-6}$  м, одиниця електричної ємності 1 пФ (пікофарад) =  $10^{-12}$  F - це субодиноці вимірювачів або фаради.

Когерентна одиниця системи одиниць - це похідна одиниця фізичної величини, яка пов'язана з іншими одиницями системи рівнянням, у якому числовий коефіцієнт дорівнює одиниці. Одиниця швидкості утворюється, наприклад, рівнянням, яке визначає швидкість прямолінійного і рівномірного руху точки:  $v = l / t$ , де  $v$  - швидкість,  $l$  - довжина відстані, пройденої за час  $t$ . Підстановка замість  $l$  і  $t$  дає їх одиниці в SI

$$[v] = \frac{[l]}{[t]} = \frac{1 \text{ км}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Отже, когерентною похідною одиниці швидкості в СІ є метри за секунду. В даний час агрегати, фізичні сталі та ідентифікаційні номери, необхідні для використання в Україні, регулюються державними стандартами: ДСТУ 3651.0 - 97, ДСТУ 3651.1 - 97 та ДСТУ 3651.0 - 97 [7-9].

## 1.4 Вимірювання фізичних величин

ДСТУ 2681-94 [6] дає таке визначення "Вимірювання - це відображення вимірних величин через їх значення шляхом експерименту та обчислення за допомогою спеціальних технічних засобів".

Це більш лаконічно, але загалом містить однакову думку. Для того, щоб пояснити термін "вимірювання" (стосовно метрології) ми наголошуємо на умовах, які повинні виконуватися при проведенні вимірювань.

Ці умови можна сформулювати на основі практики вимірювання та визначення "фізичної величини":

- встановлена якісна визначеність властивості, що дає змогу відрізнити її від інших властивостей об'єкта чи явища (тобто необхідно виміряти певну фізичну величину серед інших величин);

- визначена одиниця вимірювання фізичної змінної;

- існує можливість матеріалізації (відтворення або зберігання) одиниці фізичної величини, причому збереження розміру одиниці повинно здійснюватися з заданою точністю та протягом мінімального часу, необхідного для вимірювань. Якщо хоча б одна з цих умов порушена, вимірювання неможливе.

Вимірювання класифікуються:

1. Внаслідок характеру точності - рівноточні і нерівноточні.
2. За кількістю вимірювань у серії - одиничні та багаторазові.
3. З точки зору зміни вимірюваної фізичної величини - статичні та динамічні.
4. За метрологічним призначенням - для технічних та метрологічних цілей.
5. За способом отримання результату вимірювання - в абсолютному та відносному вираженні.
6. За загальним методом отримання результату вимірювання - прямий, непрямий, непрямий, сумісний та кумулятивний.

Рівноточні вимірювання - серія вимірювань будь-якого розміру, що проводиться з однаковою точністю вимірювальних приладів за однакових умов. Неточні вимірювання - серія вимірювань будь-якого значення, виконаних різними вимірювачами точності та (або) за різних умов.

Одноразове вимірювання - вимірювання, яке проводиться один раз. Наприклад, вимірювання певного моменту часу за допомогою годинника. У багатьох

випадках, коли вам потрібна більша впевненість у точності результату, одного вимірювання недостатньо, тоді виконайте два, три або більше вимірювань однієї і тієї ж конкретної фізичної величини. У таких випадках кажуть "подвійне вимірювання", "потрійне вимірювання" тощо.

Багаторазове вимірювання - вимірювання однієї і тієї ж фізичної величини, результат якої отримується в результаті декількох послідовних вимірювань.

Виникає питання, з якої кількості вимірювань можна вважати вимірювання множинним? Однозначної відповіді на це питання немає. Однак відомо, що при ряді окремих вимірювань  $n = 4, 18, 19$ , ряд вимірів можна обробити відповідно до вимог математичної статистики. Тому, якщо ми маємо чотири або більше вимірювань, ми розглядаємо кілька. Результат багаторазових вимірювань зазвичай приймається як середнє арифметичне результатів окремих вимірювань, включених до серії.

Статичне вимірювання - вимірювання фізичної величини, яку можна переглянути незмінною під час вимірювання.

Динамічне вимірювання - вимірювання фізичної величини, яка змінюється під час вимірювання.

Технічне вимірювання - вимірювання, проведене за допомогою працюючих вимірювальних приладів.

Метрологічне вимірювання - вимірювання, яке проводиться за допомогою еталонів та зразкових вимірювальних приладів з метою відтворення одиниці фізичної величини або перенесення її розміру на робоче обладнання.

Абсолютне вимірювання - вимірювання, засноване на прямих вимірах однієї або декількох основних величин та (або) використанні значень фізичних констант.

Відносне вимірювання - вимірювання відношення однієї величини до іншої однорідної величини (яка відіграє роль одиниці або яка вважається оригінальною і значення якої відомо).

Приклад. Припустимо, нам потрібно виміряти коефіцієнт відбиття зразка, який за визначенням однаковий

$$r = \frac{F}{F_0}, \quad (1.1)$$

де  $F_0$  і  $F$  - потоки світла, які опромінюються і відбиваються зразком. Процедура абсолютного вимірювання полягає в наступному. Спочатку вимірюється

$F_0$ , для якого струм випромінювання направляється безпосередньо в приймач випромінювання. Потім замість приймача випромінювання встановлюється тестовий об'єкт, приймач переміщується таким чином, щоб на нього падав відбитий світловий потік і остаточно вимірюється значення  $F$  із співвідношенням (1.1), обчислюється необхідне значення коефіцієнта відбиття  $r$ .

Однак рух приймача випромінювання призводить до низки помилок, які важко контролювати і які можуть суттєво сфальсифікувати результат вимірювання, так що на практиці частіше застосовується відносне вимірювання коефіцієнтів відбиття, суть яких полягає в наступному . Спочатку виміряйте світловий потік, відбитий досліджуваним зразком, приймачем випромінювання - ви отримаєте вимірне значення  $N_1 = cr$  ( $c$  - коефіцієнт пропорційності). Потім виміряйте світловий потік, відбитий еталонним зразком (еталоном), який використовується замість зразка при постійних інших умовах експерименту - ви отримаєте значення  $N_2 = crE$ . І з точки зору двох останніх відносин знайдено

$$r = \frac{N_1}{N_2} r_E, \quad (1.2)$$

де  $r_E$  – відоме значення коефіцієнта відбиття еталону (порівняльний зразок).

Пряме вимірювання - вимірювання величини, значення якої знаходять безпосередньо, не перетворюючи їх тип і використовуючи відомі залежності (наприклад, вимірювання температури термометром, струму - амперметром, ...). У цьому випадку рівняння вимірювання має вигляд

$$Q=cN, \quad (1.3)$$

де  $Q$  – значення вимірюваної величини в прийнятих до неї одиницях виміру,  $c$  - ціна поділки шкали або одиниці відображення цифрового лічильника,  $N$  - відлік від пристрою відображення вимірювального пристрою.

Непряме вимірювання - вимірювання, при якому значення однієї або декількох вимірюваних величин знаходять після перетворення роду значення або обчислення відомих залежностей від кількох безпосередньо виміряних значень аргументів.

Опосередковане вимірювання - це непряме вимірювання величини ( $Q$ ) з перетворенням її типу або розрахунками на основі результатів вимірювання інших

величин ( $X_1, X_2, \dots, X_N$ ), з якими виміряна величина пов'язана явною функціональною залежністю ( $f$ ). Рівняння опосередкованого вимірювання має вигляд

$$Q = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (1.4)$$

Приклади опосередкованого вимірювання:

- Визначення густини однорідного тіла на основі вимірювань його маси  $m$  та об'єму  $V$  (рівняння зв'язку зв'язку  $\rho = m/V$ );

- Визначення електричного опору  $R$  опору через струм  $I$  в ланцюзі та напруги  $U$  на його з'єднаннях (рівняння зв'язку  $R = U/I$ );

**Сукупне вимірювання** - це непряме вимірювання, при якому значення кількох однорідних величин, виміряні одночасно, отримуються шляхом розв'язування рівнянь, які пов'язують різні комбінації цих прямо чи опосередковано виміряних величин. Наприклад, значення маси окремих ваг набору визначаються відомим значенням маси одного з ваг (особливо 1 кг) та результатами вимірювань (порівняння) мас різних комбінацій ваги.

**Сумісне вимірювання** - це непряме вимірювання, при якому значення кількох одночасно вимірюваних

неоднорідних величин отримують шляхом розв'язування рівнянь, які пов'язують їх з іншими прямо чи опосередковано вимірними величинами. Наприклад, використовуйте серію одночасних вимірювань збільшення довжини  $\Delta l$  зразка як функції зміни температури  $\Delta t$  для визначення коефіцієнта лінійного розширення  $k$  зразка  $k = \Delta l / (l \Delta t)$ .

Рівняння результату вимірювання при проведенні сукупних та сумісних вимірювань має наступний вигляд

$$\varphi(Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n) = X_j \quad (1.5)$$

де  $i = 1, 2, \dots, n$  – номер визначувальних величин  $Q$ ; а  $j = 1, 2, \dots, m$  – номер вимірювань величин  $X$ , що для сукупних вимірювань одноіменні, а для сумісних вимірювань – різноіменні.

## 1.5 Результат вимірювань та його характеристики

Відповідно до ДСТУ 2681 - 94, результат вимірювання фізичної величини (коротше: результат вимірювання або

результат) - це величина фізичної величини, визначена її виміром.

Примітка 1. Термін "результат вимірювання" відноситься до відображення, некорегованого чи виправленого результату та середнього значення кількох вимірювань.

Примітка 2. Результати вимірювань можуть бути використані за умови, що відомі відповідні характеристики похибки вимірювання.

Приклади. Оператор зняв показання амперметра - 75 А, тобто зробив зворотний відлік. Цей підрахунок є результатом вимірювання  $R$ , тобто  $R$  рівне відліку. При вимірюванні довжини відрізка  $l$  за допомогою вимірювального приладу проводяться два показники, що відповідають кінцям відрізка:  $O_1 = 13,4$  мм  $O_2 = 74,5$  мм. Різниця між виміряними значеннями рівна 13,4 мм та  $O_2 - O_1 = 61,1$  мм є результатом вимірювання відрізка  $l$ , отже  $R = O_2 - O_1$ .

При вимірюванні маси  $m$  речовини на вагах п'ять еквівалентних вимірювань  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $m_4$  і  $m_5$  відповідно становлять 5,5; 5,6; 5,5; 5,4 та 5,5 мг. У цьому випадку

результатом кількох вимірювань є середнє арифметичне з отриманих п'яти значень:  $\bar{m} = 5,5$  мг, тобто

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} = \bar{m}. \quad (1.6)$$

При здійсненні нерівноточних вимірювань результат багаторазового вимірювання задається середнім зваженим.

Тоді

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n a_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, \quad (1.7)$$

Тут  $a_i$  – значення величини, отриманого при  $i$ -тому вимірі, що входить в ряд нерівноточних вимірювань;  $p_i$  – вага  $i$ -того виміру даного ряду.

Вага результату вимірювання - це число, яке є додатним і служить оцінкою достовірності для конкретного результату вимірювання, який є частиною серії нееквівалентних вимірювань. Чим більше ви довіряєте результату вимірювання, тим вища його вага. У більшості випадків передбачається, що вага ряду неточних вимірювань  $p_i$  обернено пропорційна до квадрату їх середньоквадратичних помилок  $s_i$ , тобто

$$p_i = \frac{1}{s_i^2} \quad (1.8)$$

Переважно за вагу оберають числа, які пропорційні кількості повторюваних вимірювань у серіях, які складають ряд вимірювань.

При обробці ряду нерівноточних вимірювань використовують вагу у вигляді невеликих чисел. В такому разі результату з найбільшою похибкою присвоюють вагу рівну одиниці ( $p=1$ ), а усі інші значення ваги вимірювань визначають за відношенням до неї.

Зазвичай до отриманого результату необхідно вносити поправки (враховувати систематичні похибки). Як наслідок, значення величини до введення поправки і після буде різним.

Невиправлений результат - це результат вимірювання, для якого систематичні помилки не усуваються.

Виправлений результат - результат вимірювання, отриманий після введення корекції та (або) з урахуванням коефіцієнта коригування.

Збіжність (результату) вимірювань - характеристика якості вимірювань, що відображає близькість повторних

результатів вимірювань однакових величин за однакових умов.

Примітка 1. Збіжність вимірювань відображає близькість до нульового значення випадкової помилки.

Примітка 2. Збіжність може бути визначена кількісно за допомогою дисперсії результатів вимірювань.

Відтворюваність вимірювань - характеристика якості вимірювань, що відображає близькість результатів вимірювань одного і того ж значення, що проводяться в різних умовах (у різний час, в різних місцях, різними методами та засобами).

Примітка. Відтворюваність може бути визначена кількісно за допомогою дисперсії результатів вимірювань (нерівна).

Точність вимірювання є основною характеристикою якості вимірювання, яка відображає близькість результату вимірювання до справжнього значення вимірюваної величини (тобто близькість похибки його результату до нуля). Чим менша похибка вимірювання, тим вища точність. Точність кількісно визначається оберненою величиною модуля відносної похибки.

До прикладу, коли відносна похибка вимірювань рівна  $10^{-6}$ , то точність буде дорівнювати  $10^6$ .

**Правильність** вимірювання є характеристикою якості вимірювання, яка відображає близькість до нуля систематичної похибки вимірювання.

**Середньозважене** - середнє значення величини, отриманої в результаті серії неточних вимірювань, з урахуванням зважування кожного результату, задіяного в обробці. Середньозважене обчислюється за виразом (1.7).

Приклад. На основі вимірювань (з різною кількістю вимірювань) одного і того ж плоского кута  $\alpha$  в різний час були отримані наступні значення:

$\alpha_i$	Кількість вимірювань	Вага результату вимірювання, $p_i$
------------	----------------------	------------------------------------

13°18'10''	3	1
13°18'08''	6	2
13°18'06''	9	3
13°18'04''	12	4
13°18'00''	15	5

Середньозважене значення кута обчислюють згідно виразу (1.7):

$$\bar{\alpha}_p = \frac{\sum_{i=1}^5 \alpha_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^5 p_i} = 13^\circ 18' 04''$$

Також середньозважене значення іноді називають **середнім ваговим**.

## 1.6 Засоби вимірювань

Відповідно до ДСТУ 2681 - 94 [6], **вимірювальний прилад** - це технічний пристрій, який використовується для вимірювань і має стандартизовані метрологічні властивості.

До вимірювальних приладів належать засоби вимірювальної техніки і вимірювальне приладдя.

**Засоби вимірювальної техніки** - це вимірювальні прилади, які виконують вимірювальний процес.

До вимірювальних приладів належать кодуючі вимірювальні прилади, реєстраційні вимірювальні прилади, вимірювальні прилади, вимірювальні канали та вимірювальні системи. Вимірювальний пристрій ідеально реалізує лінійну залежність між значеннями вимірюваної змінної та відповідними її розмірами.

**Вимірювальний прилад** – це пристрій, в якому здійснюється лише одна зі складових вимірювального процесу (вимірювального процесу).

Вимірювальні прилади: вимірювальний пристрій, компаратор, вимірювальний перетворювач, масштабний перетворювач та обчислювальний компонент.

**Міра (величина)** - вимірювальний прилад, що здійснює відтворення та (або) збереження фізичної одиниці заданої величини.

Існують однозначні розміри, що відображають фізичну величину однакового розміру (наприклад,

плоскопаралельна кінцева міра довжини, нормальний елемент, конденсатор постійної ємності тощо).

Чіткі міри - це багатозначні міри (набір мір, магазин мір).

**Набір мір (набір мір)** - це спеціально підібрана сукупність мір, який використовується не тільки самостійно, але і в різних комбінаціях для відтворення кількох однакових значень різного розміру. Наприклад, ряд плоскопаралельних кінцевих мір довжини, ряд опорів, ряд ваг тощо.

**Компаратор** - вимірювальний прилад, що порівнює однорідні фізичні величини.

**Вимірювальний перетворювач** - вимірювальний пристрій, який виконує перетворення вимірювань і має стандартизовані метрологічні властивості і призначений для перетворення вимірюваного значення в інше значення або сигнал вимірюваної інформації, який підходить для обробки, зберігання, подальшого перетворення, відображення та віддаленої передачі, але які сприймаються безпосередньо глядачем чи ні.

**Первинний перетворювач** (або датчик) - це перетворювач, який першим взаємодіє з об'єктом, що вимірюється.

**Масштабний (вимірювальний) перетворювач** - вимірювальний перетворювач, який виконує масштабне перетворення вимірювань.

Комп'ютерний компонент (вимірювальний прилад) або числовий перетворювач - вимірювальний пристрій, який являє собою сукупність апаратних і програмних засобів комп'ютера, що виконує арифметичні дії під час вимірювання. Комп'ютерні компоненти - це пристрої, за допомогою яких на первинних результатах вимірювань проводяться необхідні обчислювальні процедури для отримання кінцевих результатів. Залежно від обсягу та складності операцій ці компоненти можуть бути різної складності - від найпростіших мікропроцесорів до комп'ютерів загального призначення до найскладніших спеціалізованих процесорів сигналів та багатопроцесорних систем. Важливим елементом обчислювального компонента є його програмне забезпечення та, з метрологічної точки зору, програма (або програма) обробки результатів вимірювань.

Пристрій для вимірювання коду або аналого-цифровий перетворювач - це вимірювальний пристрій, в якому кодовий сигнал генерується з інформації про вимірювання.

**Сигнал** - це фізичний процес, властивості якого визначаються взаємодією між матеріальним об'єктом та засобами його дослідження

**Параметр сигналу** - одна з властивостей сигналу, яка є фізичною величиною.

Інформативний параметр сигналу - це параметр сигналу, який функціонально пов'язаний з тестовою або вимірюваною змінною або має конкретне значення.

**Сигнал вимірювання** - це сигнал, один або кілька параметрів якого мають значення.

**Вхідний (вимірювальний) сигнал** - вимірювальний сигнал, який виникає при взаємодії об'єкта вимірювання та вимірювального пристрою.

**Зразковий сигнал** - вимірювальний сигнал, один або кілька параметрів якого мають певне значення.

**Інформаційний сигнал вимірювання** - це сигнал, який представляє інформацію про вимірювання на виході вимірювального пристрою.

**Кодовий сигнал інформації** - це сигнал інформації про вимірювання, призначений для сприйняття технічними пристроями.

**Записний вимірювальний пристрій** - це вимірювальний пристрій, в якому реєструється сигнал вимірювальної інформації.

**Вимірювач** - вимірювальний пристрій, що генерує візуальний сигнал інформації про вимірювання. Результати вимірювань вимірювальних пристроїв виводяться їх пристроями зчитування. Останні поділяються на: масштабні, цифрові та звукозаписні. Пристрої підрахунку записів включають механізм запису або друку.

**Аналоговий вимірювальний пристрій** - це вимірювальний пристрій, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається шкалою та покажчиком.

**Цифровий вимірювальний пристрій** - це вимірювальний пристрій, в якому візуальний сигнал

вимірювальної інформації відображається у вигляді цифр або символів на дисплеї.

Пристрої, що діють безпосередньо (пристрої прямої оцінки), дають змогу отримати значення вимірної величини безпосередньо на зчитувачі. Наприклад: амперметр, ртутний термометр, барометр тощо.

У разі використання пристроїв порівняння значення вимірної величини отримують шляхом її порівняння з відомим значенням, яке відтворюється шляхом вимірювання. Наприклад, вимірювання маси на вагах, вимірювання напруги компенсаційним (диференціальним) вольтметром, де вимірювання ґрунтується на порівнянні вимірюваної напруги зі значенням компенсаційної напруги, вказаним вимірюванням напруги (набір нормальних елементів) тощо. Характеристика пристроїв, заснованих на методі порівняння, полягає в тому, що похибка результату вимірювання є незначною, оскільки вона в основному визначається похибкою вимірювань, з якою порівнюються значення вимірювань.

**Вимірювальне приладдя** - прилади, які використовуються для забезпечення необхідних зовнішніх умов при проведенні вимірювань. До них належать,

наприклад, термостат, барокамера, пристрої для екранування електричних і магнітних полів, вимірювальні підсилювачі, фундаменти, що гасять вібрацію, і навіть звичайна лупа. Вимірювальне приладдя дозволяють підвищити чутливість вимірювальних приладів або захистити виміряне значення від спотворень, спричинених впливом змінних умов або величин.

**Вимірювальний прилад** - сукупність функціонально інтегрованих мір, вимірювальних приладів, передавачів та інших приладів, розташованих в одному місці і призначених для вимірювання однієї або декількох фізичних величин. Наприклад, система вимірювання питомого опору електричних матеріалів, система вимірювання матриць розсіювання різних об'єктів, вимірювальні системи (іноді їх ще називають стендами) для контролю роботи певних технічних засобів тощо.

**Вимірювальна система** - сукупність інтегрованих у функції вимірювальних приладів, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів та інших технічних засобів, які розташовані в різних точках досліджуваного простору (навколишнє середовище, об'єкт тощо), для вимірювання однієї або декількох фізичних величин, властивих у цьому

просторі (середовищі), об'єкті тощо). Наприклад, вимірювальна система атомної електростанції.

**Вимірювально-обчислювальний комплекс** - функціонально інтегрований набір вимірювальних приладів, комп'ютерів та допоміжних пристроїв, що виконують конкретне вимірювальне завдання.

## 1.7 Метод і методика вимірювань

**Метод вимірювання** - поєднання способів застосування вимірювальних приладів та принцип вимірювання для створення вимірювальної інформації.

Вибір конкретного методу вимірювання залежить від завдання вимірювання, яке необхідно виконати (точність результату, швидкість прийому тощо). Методи вимірювання дуже різноманітні. Найважливішими є:

**Метод прямої оцінки** - вказує значення вимірної величини безпосередньо на лічильнику вимірювального пристрою прямої дії. До прикладу, вимірювання тиску за допомогою пружинного манометру, маси на вазі з циферблатом, електричного струму за допомогою амперметра тощо. Точність вимірювання цього методу

обмежена, але швидкість процесу вимірювання робить його необхідним для практичного використання.

Точні та особливо точні вимірювання, зазвичай проводяться, використовуючи метод порівняння з мірою, де вимірювана величина порівнюється із величиною, відтвореною мірою. Це методи, які засновані на обов'язковому використанні вимірювально-порівняльного пристрою (компаратора) як окремих ЗВТ і, можливо, вимірювальних перетворювачів, а значення вимірюваної величини встановлюється відповідно до вимірних значень вимірювання, коли компаратор спрацьовує відповідно.

До прикладу, вимірювання маси на вагах, шляхом балансування пліч гирками. Залежно від того, як проводиться порівняння, цей метод ділиться на ряд варіантів:

- **Метод порівняння** - це спосіб прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вимірної величини з усіма вихідними значеннями багатозначної, неконтрольованої вимірюваної змінної.

Приклади:

1. Визначення довжини із застосуванням лінійки з градуванням.
2. Вимірювання часового інтервалу за допомогою годинника.

- **Метод балансування з регульованою мірою** [6] - це метод прямого вимірювання з багатократним порівнянням вимірюваної величини та величини, відтвореної регульованою мірою до повного вирівнювання. Наприклад. Вимірювання електричної напруги через компенсатор. Компенсатор по черзі вимірює струм навантаження і падіння напруги на навантаженні. Для вимірювання потужності використовують електродинамічні прилади.

- **Метод протиставлення** [10] – метод, у якому вимірювана величина та величина, що відтворюється мірою, одночасно впливають на вимірювальний прилад, який встановлює взаємозв'язок між цими величинами. Наприклад, при зважуванні на рівноплечих вагах, якщо виміряна маса визначається сумою мас компенсуючих гир, та показань на вагах. Цей метод зменшує вплив факторів та змінних величин, які впливають результати вимірювань, оскільки вони достатньо рівномірно спотворюють сигнали

інформації як в схемі перетворення для вимірюваної змінної, так і в схемі перетворення для відтворюваної змінної.

- **Диференційний метод (різницевий метод)** - це спосіб вимірювання, при якому незначна різниця між вимірюваною величиною та вихідною величиною одноканальної міри визначається за допомогою відповідного вимірювального пристрою. Наприклад, вимірювання напруги за допомогою диференціального вольтметра, який фактично вимірює різницю між виміряною та заданою внутрішньою нормальною напругою елемента. Метод різниці дає змогу отримати результати з високою точністю, навіть якщо для вимірювання різниці використовуються достатньо грубі засоби. Проте даний метод можливий до застосування лише в тому випадку, якщо відоме значення відтворюється з високою точністю, і близьке до значення виміряної величини. У багатьох випадках це простіше і дешевше, ніж виготовлення високоточного прямого вимірювального пристрою.

- **Нульовий метод** [10] - це спосіб порівняння з мірою, при якому результат впливу порівнюваних значень на вимірювальний прилад зводиться до нуля зміною величини, відтвореної мірою. У цьому випадку значення

вимірюваної величини задається рівним величині міри. Відповідність значень вимірюваної змінної та міри зазначається нульовим показчиком (нуль індикатора).

Нульовим методом вимірювання здійснюється зважування на рівносторонніх вагах, вимірювання опору, індуктивності та ємності за допомогою компенсаційного містка, вимірювання температури за допомогою оптичних пірометрів з еталонною лампочкою (в даному разі ваги, гальванометр та людське око є нульовими показниками)

Наприклад, вимірювання електричного опору за допомогою зрівноваженого мосту.

- **Метод збігу (метод Ноніуса)** [6, 10] - це спосіб прямого вимірювання шляхом одноразового порівняння вихідних значень двох нерегульованих багатозначних мір з різними ступенями, нульові позначки яких зміщуються на виміряне значення. Наприклад, вимірювання довжини штангенциркулем за допомогою ноніуса, при якому поділи на шкалах штангенциркуля та ноніусу збігаються. Тому метод збігу іноді називають методом ноніуса. Використання даного методу, значно підвищує точність порівняння з мірою.

- **Метод подвійного збігу (коінциденції)** [6] - це спосіб прямого вимірювання з використанням одноразового порівняння двох фізичних квантованих величин: вимірюваної й відтвореної багатозначною, нерегульованою мірою. Наприклад. Вимірювання стикованих часових інтервалів або стикованих сегментів довжини з використанням: послідовності періодичних імпульсів з відомим значенням їх періоду або лінійки з відомим значенням поділок.

- **Метод заміщення** [6] - це метод непрямого вимірювання з багаторазовим порівнянням аж до повного урівноваження початкових значень передавача з поперемінним перетворенням виміряного значення та початкового значення регульованого розміру. Наприклад, чергування зважування з виміряними масою та вагою на одній і тій же чаші терезів, знаходження електричного опору резистора, замінюючи його на магазин опору, до досягнення попередніх показань з омметра, моста чи іншого пристрою, з достатньою чутливістю. Не має значення, чи має вимірювальний прилад систематичні похибки, оскільки підрахунок відбувається відповідно до виміряного значення, а не згідно з виміряними значеннями вимірювального пристрою. Похибка вимірювання цього

методу в основному визначається похибкою вимірювання та зоною нечутливості приладу, і тому дуже мала. Недоліком методу заміщення є необхідність використання багатозначних наборів заходів.

Поєднання методів заміщення та диференціальних методів дещо знижує точність, але дозволяє використовувати менші величини. Якщо процес включає розробку основних принципів вимірювання та вибір вимірювальних приладів, вимірювальна техніка є, по суті, технологією проведення вимірювань з метою найкращого впровадження обраного методу вимірювання та забезпечення рівномірності вимірювань. Методика вимірювання визначає вимоги до вимірювальних приладів, послідовність робіт, умови вимірювання, кількість вимірювань, методи обробки їх результатів.

Відповідно до ДСТУ 2681 - 94, методика вимірювання являє собою набір процедур і правил, виконання яких забезпечує отримання результатів вимірювань з необхідною точністю. Вимірювання, які часто зустрічаються на практиці, зазвичай регулюються офіційними та технічними документами, що визначають уніфіковану методику вимірювання. Уніфікація методів важлива для забезпечення єдності певних вимірювань.

## 1.8 Похибки вимірювання

Через властиві недоліки датчиків; обраний метод та метод вимірювання; Різниця між зовнішніми умовами, в яких проводиться вимірювання, від встановлених, а також з інших причин, результат кожного вимірювання має похибку. Ця похибка обчислюється або оцінюється та приписується отриманому результату.

**Похибка вимірювання** - це відхилення результату вимірювання від дійсного значення виміряного значення.

Справжнє значення значення через помилки залишається невідомим. На практиці використовують умовно істинне (дійсне) значення величини, що замінює справжнє значення. знайти за формулою

$$\Delta_x = A - X \approx A - X_d \quad (1.9)$$

де  $A$  – значення величини, отримане шляхом вимірювання;  $X, X_d$  , –істинне та дійсне значення вимірюваної величини, відповідно.

Прийнята наступна класифікація похибок за такими ознаками.

**I. За способом вираження розрізняють абсолютні та відносні похибки.**

**Абсолютна похибка вимірювання  $\Delta_x$**  представляється в одиницях вимірюваної величини  $X$  і, згідно з (1.9), виражається співвідношенням “вимірне мінус істинне”.

**Відносна похибка вимірювання  $\delta_x$**  задається відношенням абсолютної похибки  $\Delta_x$  до дійсного (умовно істинного) значення вимірюваної величини  $X_0$  і виражається в частках одиниці

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{X} \approx \frac{\Delta_x}{X_d} \quad (1.10)$$

або у відсотковому представленні %

$$\delta_{x\%} = \frac{\Delta_x}{X} 100 \approx \frac{\Delta_x}{X_d} 100 \quad (1.11)$$

Абсолютну похибку зручно застосовувати для характеристики результату вимірювання, оскільки вона дає змогу одночасно визначити достовірні та недостовірні розряди в його числовому значенні. До прикладу, вимірювання електричного струму дає результат 5,243 А, де 0,01 А – абсолютна похибка, а отже, число 3 в результаті вимірювання є ненадійним і його не слід писати.

Для порівняння метрологічних властивостей кількох істотно різних результатів абсолютна похибка незручна. До прикладу, важко одразу вирішити, яке з двох вимірювань дає більш надійні результати:  $5,24 \text{ A}$  з похибкою  $0,01 \text{ A}$  або  $0,0125 \text{ A}$  з похибкою  $0,0001 \text{ A}$ . У такому разі відносні похибки ( $0,2$  і  $0,8\%$  відповідно) полегшують порівняння достовірності даних результатів: перший результат є більш надійним.

## **II. За причиною появи похибки можна поділити на наступні категорії:**

Інструментальна похибка,

Методична похибка,

Суб'єктивна похибка

Похибка зовнішніх умов.

**Похибка приладу (інструментальна) [6]** є складовою похибки вимірювання, яка обумовлена характеристиками вимірювальних приладів.

Примітка. Інструментальна похибка складається з похибки вимірювальних приладів та похибки їх взаємодії з об'єктом вимірювання.

**Методична похибка** є складовою помилки вимірювання, яка виникає через невідповідність об'єкта вимірювання та його моделі під час вимірювання [6]. Дана похибка може бути також обумовлена недосконалістю методу, обраного в процесі вимірювання, впливом вимірювальних приладів на вимірювану величину (помилка взаємодії) або через деякі спрощення при отриманні формул для розрахунку.

Наприклад, похибка обумовлена недостатньою швидкістю вимірювальних приладів при вимірюванні швидко змінних процесів, помилками через неврахування домішок при визначенні густини речовини шляхом вимірювання її маси та об'єму, похибками при вимірюванні низькоомним вольтметром напруги у високоомному ланцюгу (рис. 1.3): при підключенні вольтметра спад напруги на резисторі  $R_2$  зменшується, і заздалегідь отримують неправильний результат вимірювання.

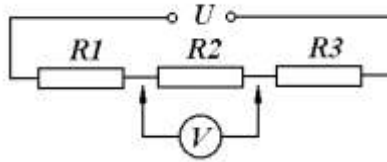


Рис. 1.3. Вимірювання розподілу напруги в електричному ланцюгу

**Суб'єктивна похибка** – виникає внаслідок індивідуальних недосконалостей оператора: недосконалість органів чуття спостерігача, відсутністю достатнього досвіду, неуважністю під час зняття відліку тощо.

**Похибка, спричинена впливом зовнішніх умов,** виникає внаслідок відхилення від нормальних умов або умов заданих методикою вимірювання (умови, за яким вони були відкалібровані або метрологічно повірені).

**III. Відповідно до закономірності прояву похибок існує дві складові:**

Систематична похибка  $\Delta x_c$  і випадкову  $\Delta x_{\text{вип.}}$ .

У загальному випадку дані компоненти складають абсолютну похибку вимірювання

$$\Delta_x = \Delta_{xc} + \Delta_{xвип} \quad (1.12)$$

**Систематична похибка вимірювання** - це така складова похибки, яка залишається постійною або передбачувано змінюється при декількох вимірах однакового розміру.

За типом прояву систематичні помилки поділяються на постійні, прогресивні та періодичні.

**Постійна систематична похибка** - це похибка, яка залишається постійною протягом тривалого періоду часу, наприклад протягом усієї серії вимірювань. Приклад: Зважування на рівноплечих вагах із застосуванням неточних гирок.

**Прогресивна систематична помилка** - це постійно зростаюча або спадна за своїм значенням похибка. До прикладу, похибка, спричинена спрацьовуванням вимірювальних наконечників, при контакті з деталлю під час обробки деталі, коли деталь перевіряється активним пристроєм управління.

**Періодична систематична похибка** - це похибка , для котрої значення є функцією часу або функцією зміщення показу відлікового пристрою. До прикладу, наявність ексцентриситету у транспортирах із круговою шкалою спричиняє виникнення систематичної похибки, яка змінюється відповідно до періодичного закону.

Присутність систематичних похибок спотворюють, результат вимірювання, і тому їх необхідно усунути, за можливості, вносячи поправку або регулюючи прилад, до зменшення систематичної похибки до прийняттого мінімуму.

**Поправка** – величина, яка алгебраїчно додається до результату вимірювання для вилучення систематичної похибки.

**Невиключена систематична похибка** задає похибку результату вимірювання, що виникає внаслідок наявності похибок розрахунку при введенні поправки на дію систематичної похибки або означає незначну систематичну похибку, виправлення якої не вводиться через її малість. Цей тип похибок іноді називають невиключеними залишками систематичної похибки.

**Випадкова помилка** вимірювання задає складову похибки вимірювання, яка випадково змінюється у серії вимірювань однакового розміру фізичної змінної (відповідно за знаком та значенням). Такі похибки виявляються в тому, що багаторазові вимірювання однієї і тієї ж постійної величини, проведені оператором з однаковою обережністю та тими самими вимірювальними приладами за однакових умов, дають чисельні результати, які дещо відрізняються один від одного (зазвичай зміна спостерігається для останніх значущих цифр).

Випадкові помилки виникають під дією великої кількості факторів, що діють самостійно, які самі по собі мають непомітний вплив на результат вимірювання, але загальний ефект усіх цих факторів не може бути передбачений у конкретний момент часу. Якби однакові значення були отримані шляхом повторних вимірювань того самого значення, це не означало б відсутності випадкових помилок, а навпаки, означало, що спостерігається недостатня чутливість використовуваного вимірювального пристрою.

Точно збіжні результати вимірювання однієї і тієї ж величини, чи занадто різні результати свідчать про неточність проведення вимірювання. Отримання

результатів, які дещо відрізняються один від одного (якщо тест проводиться так само ретельно) є необхідною умовою проведення вимірювання. У процесі багатократного проведення експериментальних вимірювань можливе виникнення окремих результатів спостереження, які різко відрізняються від інших.

Такі результати містять похибки, які значно перевищують похибки, очікувані за цих умов випробування, властивостей використовуваних вимірювальних приладів та застосованого методу. Такі помилки відомі як надмірні помилки чи промахи. Причина їх виникнення - помилкові або неправильні дії оператора (неправильне зчитування, помилки в записах або розрахунках, неправильне включення пристрою, використання неправильно розрахованої ціни поділки тощо), а також різка короткочасна зміна умови вимірювання (вібрація, обдування холодним повітрям, стрибок напруги тощо).

Надмірні помилки сильно відрізняються від систематичних та випадкових помилок, що виключає можливість їх використання при кінцевих етапах опрацювання вимірювальної інформації. Результат спостереження, що містить надмірні помилки, зазвичай

добре видно, оскільки він сильно відрізняється від інших результатів. Тому такий результат слід негайно відхилити як явно неправильний. Однак частіше вони розпізнаються лише під час остаточної обробки результатів вимірювань за допомогою критеріїв спеціально розроблених для оцінки таких надмірних похибок. Чітке уявлення про типи помилок за способом їх зміни наведено на рис. 1.4, де показано результати стрільби по мішені для чотирьох випадків (відхилення кожного попадання від центру цілі можна вважати похибка), що є похибкою вимірювання фіксованої фізичної величини (центр мішені).

**Випадок а)** демонструє присутність випадкових помилок за відсутності систематичних. Тут спостерігається закономірність: чим ближче до центру (тобто до справжнього значення фізичної величини), тим більше потраплянь у ціль (відліки). Одноразове попадання в лівий нижній кут цілі - надмірна помилка (промах);

**Випадок б)** показує наявність випадкових похибок у сукупності з постійним значенням систематичної похибки (спричинену зміщенням прицілу);

**Випадок в)** ілюструє сукупність випадкових похибок і систематичну змінну похибку (спричинену

неперервним зміщенням ствола по вертикалі при поганому його фіксуванні);

**Випадок г)** демонструє наявність випадкових помилок, постійних та змінних систематичних помилок (через загальний ефект дії усіх зазначених вище причин)

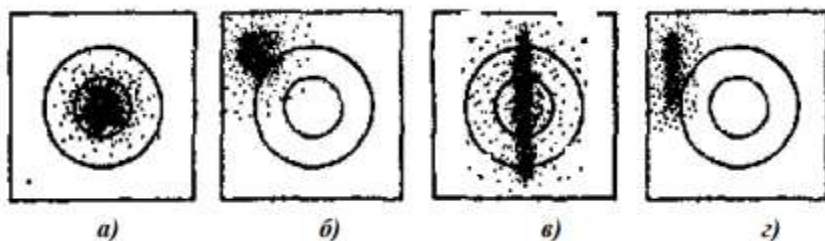


Рис. 1.4. Наочне представлення результатів стрільби по мішені: а) присутність випадкових похибок; б) наявність випадкових і постійної систематичної похибки; в) вплив випадкових і змінної систематичної похибки; г) сукупний вплив випадкових та постійних і змінних систематичних похибок

Приведений рисунок дає змогу зробити такі висновки:

- 1) випадкова складова похибки описує відхилення одного спостереження від центру його групування,

- 2) систематична складова - зміщення центру групування відносно істинного значення вимірюваної величини.

**IV. Згідно існуючих способів опрацювання ряду даних виділяють середньоарифметичні та середньоквадратичні похибки.** Приведені типи похибок детальніше описані при розгляді методів обробки результатів вимірювання [11].

**V. Похибки, розподілені за наявністю чи відсутністю функціональної залежності між самим значенням похибки вимірювання та вимірюваною величиною.** В такому разі існують 2 типи похибок:

- 1) Адитивні,
- 2) Мультиплікативні.

**Адитивна похибка** (з латинської - отримана додаванням) не залежить від вимірюваної величини. Залежно від характеру прояву, адитивні похибки можуть бути систематичні або випадкові.

Приклад систематичної адитивної помилки є зсув нульової точки характеристичної кривої аналогового вимірювального пристрою (рис. 1.5, а).

Випадкові адитивні похибки (наприклад, похибки тертя в опорі вимірювального механізму приладу) можуть приймати будь-які значення під час вимірювання, але не залежать від вимірюваного значення. Їх граничні значення утворюють смугу постійної ширини на характеристичній кривій (рис. 1.5, б).

**Мультиплікативна похибка** (отримана множенням) характеризується залежністю від значення вимірюваної величини.

**VI. Згідно залежності вимірюваної величини від часу, похибки вимірювання можуть мати статичні та динамічні компоненти**

**Статична помилка** виникає при статичних вимірах, коли вимірне значення не змінюється протягом часу, проведення вимірювань.

**Динамічна компонента** помилки виникає при динамічних вимірах, і її величина залежить від швидкості зміни вимірної величини. Приклад динамічного вимірювання – є реєстрація миттєвих значень електричного струму магнітоелектричним осцилографом.

**VII Згідно відношення до одиниці фізичної величини, помилки поділяються на:**

1. Похибки у відтворенні та збереженні одиниці фізичної величини. Таким чином, похибка у відтворенні одиниці фізичної величини з використанням державного стандарту вказується такими складовими:

невиключена систематична похибка, що характеризується своїм граничним значенням  $\theta$ ;

випадкова похибка, що характеризується середньоквадратичним відхиленням  $S$  та нестабільністю протягом року  $v$ .

2. Похибки передавання одиниці розміру фізичної величини – ця похибка притаманна результату вимірювань,

під час перенесення одиниці розміру. Похибка передачі одиниці розміру включає невиключені систематичні та випадкові помилки методу і засобів передавання одиниці розміру.

### **1.9 Похибка засобів вимірювальної техніки**

Похибка результату вимірювання тієї чи іншої фізичної змінної залежить від похибок, властивих вимірювальному обладнанню, тобто похибки вимірювального обладнання - важлива складова, яка впливає на якість вимірювання .

Теоретично похибка засобів вимірювальної техніки - це різниця між величиною, отриманою за допомогою цього інструменту, і справжньою (істинною) величиною. Так як справжнє значення величини залишається невідомим, при практичному застосуванні, замість нього застосовується значення величини, виміряне більш точним (більше ніж у три рази) вимірювальним засобом.

Зразковий вимірювальний прилад є більш точним для робочого вимірювального пристрою, а еталон - для зразкового вимірювального пристрою. Державний еталон порівнюється з міжнародним еталоном. Як правило,

похибка засобу вимірювальної техніки, що повіряється задається похибкою

$$\Delta x_n = x_n - x_0, \quad (1.14)$$

де  $x_0$ - значення, отримане від зразкового вимірювального пристрою або еталону (фактичне значення);  $x_n$  – значення величини, отриманої за допомогою приладу, що повіряється (при повірці міри – це номінальне значення).

Похибки ЗВТ, за аналогією із похибки вимірювання, , можна класифікувати за наступними причинами:

1. За характеристикою проявлення - систематичні та випадкові.
2. За відношенням до змін вимірюваної величини - динамічні та статичні.
3. За функціональною залежністю похибки та значення вимірюваної величини - адитивні та мультиплікативні.
4. За способом вираження похибки поділяють на абсолютні, відносні і зведені.

Зведена похибка вимірювального пристрою - це відносна похибка, яка задається як відношення абсолютної похибки до умовно прийнятого значення змінної, яка є постійною

протягом усього діапазону вимірювання або часткового діапазону. Умовно прийняте значення величини називається нормувальним значенням. Верхня межа вимірювання часто використовується як нормувальне значення значення. Часто зведена похибка виражається у відсотках.

До прикладу, зведена похибка показів вольтметра з верхньою межею вимірювання 150,0 В при показах 100,9 В і дійсному значенні напруги 100,0 В складе:

$$\frac{100,9 - 100,0}{150,0} * 100\% = 0,6\%$$

1. Щодо умов використання – похибки бувають основні та додаткові. **Основною похибкою** вимірювального приладу є похибка вимірювального приладу, яка визначається за нормальних умов використання. **Додаткова похибка** додатково виникає, коли вимірювальний прилад використовується в умовах відхилення хоча б одного із значень впливних величин від нормального значення.

2. Існують також похибки мірх та ЗВТ, похибки первинних та вторинних еталонів, похибки вимірювальних

перетворювачів, похибки вимірювальних установок та систем.

Важливими є також визначення:

**Границя допустимої похибки вимірювального приладу** - найбільше значення похибки вимірювального приладу, згідно з яким цей прилад все ще можна вважати придатним для використання.

**Клас точності вимірювального приладу** - це узагальнена характеристика вимірювального приладу (засобу вимірювання), яка визначається межами його основної та додаткової допустимих похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність, і значення яких регламентуються. До прикладу, клас точності нормальних елементів 0,001 вказує на те, що його нестабільність за рік не перевищує 0,001%. Загальні вимоги до класів засобів вимірювання встановлені ГОСТ 8.401-80 "GSI. Класи точності вимірювальних приладів. Загальні вимоги"[13].

**Стабільність засобів вимірювальної техніки** - якісна характеристика вимірювального приладу, що відображає його здатність підтримувати свої метрологічні характеристики в заданих межах протягом визначеного

часового інтервалу. Нестабільність вимірювального приладу використовується для кількісної оцінки стабільності.

**Нестабільність засобу вимірювальної техніки** – зміна однієї або кількох метрологічних характеристик засобу вимірювання протягом визначеного періоду часу.

Метрологічна відмова (збій) – вихід метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки за нормовані межі.

**Метрологічні характеристики** - характеристики засобів вимірювання, нормовані з метою визначення результату вимірювання і його похибок.

### **1.10 Умови вимірювання**

Якість отриманих вимірюваних фізичних величин суттєво залежить від дії впливаючих величин: температура навколишнього середовища, атмосферний тиск, напруга в мережі тощо. Вкрай небажано змінювати значення впливаючих величин протягом вимірювання. Ці зміни

можуть спотворити результати вимірювання настільки, що їх неможливо використати. Для підвищення точності вимірювання значення впливових величин нормалізуються. Таким чином, для кожного вимірювального середовища встановлюється набір впливаючих розмірів та їх значення.

**Нормальними умовами** використання засобів вимірювальної техніки є умови використання засобів вимірювальної техніки, за яких значення впливу мають нормальні значення або знаходяться в межах норми. Нормальне значення (нормальний діапазон значень) впливаючої величини - це значення (діапазон значень) впливаючої величини, для якої (в межах якої) нормується основна похибка засобу вимірювання. Робочі умови використання ЗВТ - це умови використання засобів вимірювальної техніки, при яких значення впливаючих величин знаходяться в межах робочої зони. Робоча зона значень впливаючої величини - це зона, встановлена для засобів вимірювальної техніки, у межах якої за необхідності нормуються додаткові похибки засобів.

### **1.11 Єдність вимірювань та її забезпечення**

Одиниця вимірювання - це стан вимірювань, в якому його результати виражаються у прийнятих одиницях, а похибки вимірювання відомі з певною ймовірністю. Таким чином, поняття "одиниця вимірювання" охоплює найважливіші завдання метрології: уніфікацію одиниць та визнання їх законними, розробку систем відтворення одиниць та перенесення їх розмірів на засоби вимірювання робочих місць. Створення державних стандартів, які відтворюють одиниці з найвищою точністю, та розробка методів передачі розмірів одиниць із встановленою точністю є гарантією рівності (тобто одиниці) розмірів одиниць при використанні робочих вимірювальних приладів.

Відповідність розмірів одиниць, відтворених державними стандартами, міжнародними стандартами або стандартами інших країн, є основою для одиниці виміру на міжнародному або багатонаціональному рівні. Іншими словами, більш важливою умовою забезпечення однорідності вимірювань є використання "метрів", "кілограмів" та інших одиниць однакового розміру. Наведене визначення охоплює похибку вимірювання, що складається з похибки використовуваних засобів та методу вимірювання, і по суті залежить від техніки вимірювання

(умов, кількості вимірювань тощо). Без встановлення меж похибки вимірювання, що впливає з конкретного вимірювального завдання, неможливо вибрати правильний вимірювальний прилад, дати правильну оцінку результатів вимірювань, зроблених у різних місцях, тобто важко забезпечити одиницю вимірювання вимірювань. З міркувань єдності вимірювань розроблені загальні вимоги до виробництва вимірювальних інструментів (щодо точності, діапазону вимірювань). Одиниця вимірювання повинна підтримуватися з точністю вимірювань, необхідних національній економіці.

**Забезпечення одиниці вимірювання** - це діяльність метрологічних служб та інших, призначених для досягнення одиниці вимірювання з необхідною точністю національної економіки.

**Метрологічна служба** - мережа організацій, окрема організація або окремий підрозділ, який відповідає за забезпечення одиниці вимірювання у визначеній сфері діяльності.

**Державна метрологічна служба** - це система державних метрологічних органів, які відповідають за забезпечення єдності вимірювань у державі.

Відомча служба метрології: служба метрології міністерства чи іншого центрального органу державної виконавчої влади, об'єднання компаній, компаній, установ, організацій. Калібрування, державні випробування та метрологічна атестація засобів вимірювання важливі для забезпечення однорідності вимірювань.

## **1.12 Метрологічна атестація, повірка та державні випробування засобів вимірювань**

### **1.12.1 Калібрування вимірювальних приладів**

Поняття **повірка** включає спосіб визнання відповідного засобу вимірювання придатним для використання на основі результатів експериментального контролювання відповідності його метрологічних характеристик встановленим вимогам. Результати верифікації засобів вимірювання, визнаних придатними для використання, будуть оприлюднені шляхом видачі сертифіката верифікації та нанесенням верифікаційного клейма.

**З метрологічної точки зору, повірка** - це порівняння вимірювального приладу, що тестується, із зразковим приладом, мірою або еталоном, яке є достатнім для встановлення його придатності для використання у раніше

встановленій функції. Похибка вимірювання для зразкового приладу або точність фактичного значення вимірювання або параметра еталону повинні бути в якнайменше в три рази кращими за точність приладу, що повіряється.

**З юридичної точки зору**, повірка - це вид метрологічного нагляду за засобами вимірювання, який раніше був визнаний законним, в рамках якого періодично встановлюється нормативно -правовий акт для визначення того, чи вимірювальний прилад знаходиться в тому діапазоні, який був призначений вам під час метрологічної атестації або державних випробувань.

Існують такі методи перевірки засобів вимірювальної техніки [14]:

- пряме порівняння повіряемого приладу з зразковим вимірювальним приладом того ж типу без застосування компаратора (порівняльного пристрою);
- порівняння повіряемого ЗВТ із зразковим засобом вимірювання того ж типу за допомогою компаратора;
- пряме вимірювання повіряемим інструментом, величини, відтвореної за допомогою зразкової міри чи еталону;
- безпосереднє вимірювання за допомогою зразкового вимірювального пристрою величини, що підлягає верифікації;

- непряме вимірювання величини, яка відтворюється мірою чи вимірюється приладом, що повіряється;
- незалежна (автономна) повірка.

Розглянуті методи повірки мають свої різновиди. Отже, нормативно-технічні документи (НТД), які регулюють методи повірки, можуть містити визначення, що відрізняються від наведеної вище класифікації, але по суті можуть бути зведені до одного з вищезазначених методів.

**1.12.1.1 Метод прямого порівняння двох вимірювальних приладів без використання компараторів або інших проміжних пристроїв** широко використовується для повірки різних вимірювальних приладів. Основою методу є одночасне вимірювання того самого значення фізичних величин  $X$  подібного характеру за допомогою повіряемого та зразкового приладів. Під час такої повірки задають потрібне значення  $X$ , а потім порівнюють покази повіряемого пристрою  $X_{II}$  з показаннями зразкового приладу  $X_3$  і визначають різницю між ними.

$$\Delta = X_{II} - X_3.$$

Різниця  $\Delta$  дорівнює абсолютній похибці повіряемого пристрою, яка приводиться до нормованого значення  $X_N$  для отримання зведеної похибки.

$$\gamma = (\Delta / X_N) \cdot 100\%.$$

Цей метод можна реалізувати двома шляхами:

1) **Реєстрація суміщень.** Вказівник каліброваного приладу суміщається із повіряемою позначкою шкали шляхом зміни вхідного сигналу, а похибка визначається шляхом розрахунку як різниця між показаннями каліброваного приладу (рис. 1.5, а) та фактичним значенням, який визначається зразковим приладом (рис. 1.5, б);

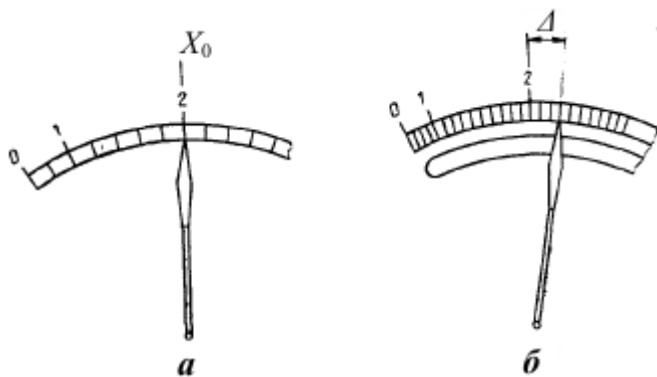


Рис. 1.5. Метод прямого порівняння двох вимірювальних приладів, повіряемого (а) і зразкового (б), реєстрацією суміщень.

2) Відрахування похибки по шкалі пристрою, що повіряється. У цьому випадку номінальне значення розміру фізичної величини для каліброваної позначки шкали встановлюється за зразковим приладом (рис. 1.6, б), а похибка визначається відстанню між повіряємою міткою пристрою, що повіряється та його покажчиком (рис. 1.6, а).

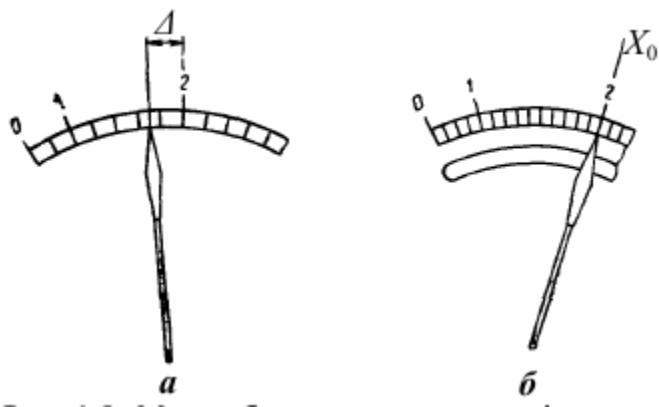


Рис. 1.6. Спосіб безпосереднього порівняння двох засобів вимірювальної техніки: повіряемого (а) та зразкового (б), шляхом відрахування похибки по шкалі приладу, що повіряється

Перший спосіб зручний тим, що дає змогу точно визначити помилку зразкового пристрою, шкала якого зазвичай має більшу кількість поділок, а пристрій зчитування практично виключає появу еталонної помилки

через паралакс. Другий спосіб зручний для автоматичної повірки, оскільки має змогу одночасної повірки кількох пристроїв з одним зразковим.

Недоліки цього методу: нелінійність шкал аналогових перевірених пристроїв та неточність проміжних поділок. Але це не стосується цифрових пристроїв, оскільки для них невласлива їм похибка відліку. При калібруванні другий метод забезпечує таку ж точність, як і перший.

Переваги методу прямих порівнянь полягає у простоті, відсутності необхідності використання складного обладнання тощо.

### **1.12.1.2 Метод порівняння повіряємого вимірювального приладу із зразковим вимірювальним приладом того ж типу з використанням компаратора**

Даним метод полягає у тому, що, до прикладу, у деяких випадках неможливо порівняти показання двох вольтметрів, коли один із них підходить для вимірювання тільки у колі постійного струму, а інший у колі змінного струму. Тоді стає неможливо безпосередньо порівняти вимірювальні розміри магнітних та електричних мір.

Вимірювання таких величин проводиться шляхом введення в схему перевірки деякої проміжної ланки

компаратора, який дозволяє побічно порівнювати дві однорідні або неоднорідні фізичні величини. У якості компаратора може бути будь-який вимірювальний прилад, який однаково реагує на сигнал зразкового та перевіреного вимірювального приладу.

До прикладу, для порівняння мір опорів, індуктивності, ємності як компаратори застосовують мости постійного чи змінного струму, а для порівняння вимірів опору та ЕРС - потенціометри.

Використання компараторів для порівняння мір проводиться за допомогою методів протиставлення чи заміщення. Спільним для обох методів повірки вимірювальних приладів є поява сигналу при різниці у розмірах порівняних значень. Якщо цей сигнал зменшити до нуля, шляхом підбирання значень розмірів зразкової міри, цей метод буде називатися нульовим. Коли на вході компаратора сигнал вимірювання вказує на різницю порівняльних розмірів при одночасній взаємодії розмірів порівнюваних величин – даний метод називається **диференційним**. Використання методу протиставлення під час повірки зменшує вплив значень впливних величин на результати повірки, оскільки вони майже однаково спотворюють сигнали на вході компаратора.

Перевагами методу заміщення є послідовне порівняння двох величин у часі. Той факт, що ці значення включені послідовно в одну і ту ж частину компаратора, підвищує точність вимірювань порівняно з іншими типами методів порівняння, оскільки асиметрія схем, у котрі вмикаються порівнювані величини, призводить до виникнення систематичної помилки.

Недоліком методу нульового заміщення є необхідність наявності засобів вимірювання, які дають змогу відтворити довільне значення вимірюваної величини без істотного зменшення точності. Характеристикою диференціального методу при здійсненні та повірки є можливість отримати достовірні результати порівняння двох вимірювальних приладів, навіть якщо для вимірювання різниці використовуються відносно грубі засоби. Однак реалізація цього методу вимагає високоточної міри з номінальним значенням, яке близьке до номінального значення міри, що повіряється.

### **1.12.1.3 Метод прямого вимірювання**

Вказаний метод має ряд специфічних вимог, оскільки він використовується для зразкових вимірювальних приладів. Найбільш характерними є:

- здатність відтворення мірою фізичної величини, в одиницях якої градуйовано повіряємий ЗВТ;

- охоплення всього діапазону вимірювання фізичних величин, що відтворюються вимірюваним засобом;

- відповідність точності міри, а в деяких випадках її типу та плавності зміни розмірів згідно вимог, визначеним нормативно-технічної документації для методів та засобів повірки засобів вимірювання цього типу.

Як і у випадку прямого порівняння, визначення основної похибки повіряемого приладу здійснюється двома способами:

- 1) зміна розміру міри з суміщенням показчика повіряемого приладу з повіряємим показником тобто методом прямого оцінювання, після чого слід визначити абсолютну похибку  $\Delta$  як різницю між показником ЗВТ  $X_{II}$  і дійсним значенням міри  $X_0$ ;

- 2) попереднє встановлення розміру міри  $X_0$ , таким, що рівне номінальному значенню (для цього показу

повіряемого ЗВТ) і наступним зняттям відліку з відлікового пристрою  $X_{\text{П}}$ . Далі, аналогічно, знаходиться абсолютна похибка  $\Delta$  за різницею між показом засобу вимірювань  $X_{\text{П}}$  та дійсним значенням міри  $X_0$ .

Реалізація першого методу, який має ряд переваг, може відбутись лише за наявності магазину мір, що дає змогу плавно змінювати відтворювану фізичну величину. У деяких випадках неможливо безпосередньо виміряти розмір вимірювання за допомогою повіряемого вимірювального приладу. У цьому випадку деяке проміжне значення вимірюється за допомогою повіряемого приладу і безпосередньо порівнюється зі значенням міри. До прикладу, калібрування вольтметрів з порівнянням їх показань з мірами ЕРС за допомогою потенціометра постійного струму. Метод прямих вимірювань знаходить широке застосування при повірці мір з обмеженою точністю.

#### **1.12.1.4 Непрямий метод вимірювання**

При реалізації цього методу фактичний розмір вимірювання або значення, виміряне приладом, що перевіряється, оцінюється за прямими вимірюваннями

різних величин, пов'язаних із необхідним значенням за певною залежністю. Метод використовується, коли фактичні значення величин, відтворених мірою чи повіряємим ЗВТ неможливо визначити за допомогою прямого вимірювання або коли непрямі вимірювання простіші або точніші, ніж прямі вимірювання.

Базуючись на результатах прямих вимірювань здійснюється розрахунок на основі зв'язків між бажаним значенням та результатами прямих вимірювань, визначається значення величини, тобто знаходять результат непрямого вимірювання.

Зауважимо, що при проведенні повірки шляхом непрямих вимірювань необхідно враховувати той факт, що кінцевий результат непрямого вимірювання зазвичай містить похибки, які виникають при прямих вимірюваннях.

#### **1.12.1.5 Незалежна (автономна) повірка**

Така повірка здійснюється без використання зразкових вимірювальних приладів і виникла під час розробки особливо точних засобів вимірювання, котрі неможливо повірити жодним із розглянутих методів через

відсутність зразкових засобів вимірювання з необхідними межами вимірювання.

Суть незалежного (автономного) методу перевірки, який найчастіше реалізується при повірці приладів порівняння, полягає у порівнянні значень, відтворених окремими елементами схем повіряного вимірювального приладу, зі значенням, вибраним як еталонне та структурно відтворюється у повіреному засобі вимірювання. До прикладу, при калібруванні  $m$ -ї декади потенціометра необхідно стежити, щоб падіння напруги на кожних  $n$  кроках декади були однаковими. Для цього, вибравши орієнтир першого кроку декади як опорне значення, можливо скористатися компаратором, щоб альтернативно порівняти падіння напруги на кожному кроці з падінням напруги на цьому опорі.

Перехід від перевірки попередньої декади до наступної здійснюється шляхом порівняння падіння напруги в сумі усіх кроків наступної декади з номінально однаковим падінням напруги на другій сходинці попереднього десятиліття. Метод трудомісткий, але дає змогу високоточно визначати поправки безпосередньо на місці роботи повіряемого ЗВТ, що покращує ефективність контролю метрологічних характеристик.

### **1.12.1.6 Методи повірки реалізуються шляхом комплектної чи поелементної повірки**

У випадку комплектної повірки, вимірювальний прилад повіряється вцілому, не змінюючи співвідношення та взаємозв'язок між складовими даного ЗВТ. Визначені при цьому похибки вважаються такими, що властиві повіряємому ЗВТ вцілому. Вимірювальний прилад знаходиться в умовах, максимально наближених до фактичних умов експлуатації, що дає змогу виявити багато недоліків повіряємого вимірювального приладу: внутрішні дефекти установки, несправності комутаційних пристроїв тощо. Враховуючи простоту та хорошу надійність результатів, коли це можливо, віддайте перевагу.

У разі неможливості провести повну повірку, з огляду на відсутність стандартних засобів вимірювання, недотримання її вимог до точності або меж вимірювання, застосовується **поелементна перевірка**.

При даній повірці її похибки визначаються похибками окремих деталей чи частин ЗВТ. Потім, згідно з отриманими даними, розрахунками визначаються похибки, властиві повіряємому засобу вимірювання вцілому.

Передбачається, що моделі взаємодії окремих частин вимірювального приладу добре відомі і можливість зовнішнього впливу на їх показання виключається або може бути точно врахована.

Область реалізації поелементної повірки є великою, а в деяких випадках і єдино можливою. Досить часто така повірка використовується для складних вимірювальних приладів, з компаратором з інтегрованими в нього зразковими мірами. Слід відзначити, що результати поелементної повірки дають змогу безпосередньо визначити причину виходу з ладу засобу вимірювання, якщо при цьому фактична похибка перевищує допустиму.

Істотним недоліком такої повірки є її складність та складність впровадження порівняно з комплектною повіркою.

### **1.12.2 Державні випробування засобів вимірювальної техніки**

**Державні випробування засобів вимірювань** – це дослідження, проведені державною метрологічною службою або від її імені, зразків засобів вимірювання,

призначених для серійного або масового виробництва, або зразки, призначені для імпорту партіями, з метою встановлення відповідності вимогам нормативно -технічної документації. Існують державні випробування приймання та контролю засобів вимірювання.

**Державні приймальні випробування засобів вимірювань** – стосуються зразків нових засобів вимірювання, призначених для серійного виробництва, чи призначених для імпорту партіями, які виконуються для затвердження їхнього типу.

**Державні контрольні випробування засобів вимірювання** – стосуються засобів вимірювальної техніки, які виготовляються серійно або імпортуються партіями для підтвердження їх відповідності встановленим вимогам.

### **1.12.3 Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки**

**Метрологічна атестація** - це метод визнання засобу вимірювальної техніки законним для використання, із вказуванням його метрологічного призначення та метрологічних характеристик, отриманих на основі

ретельного вивчення його метрологічних властивостей. Метрологічна атестація проводиться органами державної метрологічної служби або відомчої метрологічної служби.

Метрологічна атестація здійснюється для засобів вимірювальної техніки, які не підлягають державним приймальним випробуванням чи затвердженню державною метрологічною службою (еталони). Метрологічна атестація необхідна для унікальних засобів вимірювання, такі як зразкові засоби вимірювальної техніки; нові ЗВТ, призначені для вимірювання фізичних величин, які раніше не вимірювалися, або для вимірювання раніше виміряних фізичних величин на основі застосування нових принципів вимірювання), а також ЗВТ, які обираються з числа робочих ЗВТ, які мають бути використані у майбутньому як зразкові.

Кожен вимірювальний прилад підлягає метрологічній атестації окремо. Результати метрологічної атестації видаються відповідним сертифікатом.

**З метрологічної точки зору**, метрологічна атестація – це комплексне дослідження вимірювального приладу для виявлення його метрологічних властивостей, головним чином діапазону вимірювань, чутливості (якщо це пристрій), реального значення (якщо це вимірювання),

похибок, визначення умов експлуатації та інших характеристик. Метрологічна атестація також перевіряє незалежність метрологічних властивостей засобів вимірювання з плином часу та дією впливних значень, які впливають на похибку засобу вимірювання. Дослідження проводиться за спеціальною програмою або методологією, розробленою службою метрології.

**З юридичної точки зору**, метрологічна атестація – це акт визнання (вперше) конкретного засобу вимірювання (нового або в новій якості) як законного. За результатами метрологічної атестації встановлюється мінімум операцій, які повинні бути проведені в майбутньому при повірці цього засобу вимірювання, а також інтервал проведення повірки. Метрологічна організація, яка проводила метрологічну атестацію, затверджує метод повірки.

Тому на підставі метрологічної атестації засобу вимірювальної техніки присвоюється певний ранг (зразковий, робочий), і його власник має право використовувати його у цій ролі. Завдяки повірці періодично перевіряється, чи відповідає вимірювальний прилад раніше встановленому рангу (тобто повірка є контрольною функцією).

### **1.13. Еталони. Зразкові засоби вимірювальної техніки. Повірочні схеми**

**Еталони** – особливий клас вимірювальних приладів з найвищою точністю, якої можливо досягнути на існуючому етапі розвитку техніки. Призначені еталони – для відтворення та зберігання одиниці фізичної величини з метою перенесення розміру одиниці на робочі вимірювальні прилади.

З розвитком технологій сучасні стандарти переважно набувають форми вимірювальних систем. Сучасне, згідно з ДСТУ 2681-94, визначення еталону наступне:

**Еталон фізичної величини** - засіб вимірювання, що забезпечує відтворення і (або) зберігання одиниці фізичної величини та передачу її розміру до відповідних засобів, які знаходяться нижче за повірочною схемою і офіційно затверджений у якості еталону.

Існують первинні та вторинні еталони.

Первинні еталони, і їх різновид – спеціальні первинні еталони повинні бути затверджені державою.

Вторинні ж еталони поділяються на

- еталони копії,
- еталони порівняння

- робочі еталони

Існують також індивідуальні та групові еталони, набори еталонів та інші еталони, визначення яких наведені в ДСТУ 2681-94. Вся сукупність державних еталонів називається еталонною базою країни. Крім еталонів існує розширений клас засобів вимірювальної техніки, який призначений для перевірки робочих приладів – зразкові засоби вимірювальної техніки.

**Зразковий вимірювальний прилад** – це вимірювальний прилад, який використовується для перевірки інших засобів вимірювання і затверджений у якості зразкового. Залежно від точності, зразкові ЗВТ поділяються на розряди 1- й, 2- й тощо. Перший - найточніший. Число розрядів для кожного виду ЗВТ задається згідно державної повірочної схеми.

**Повірочна схема ЗВТ** – нормативний документ, що встановлює підпорядкованість засобів вимірювань (засобів вимірювання), що беруть участь у передачі одиниці виміру фізичної величини зі стандартного або початкового вибіркового вимірювального приладу на інші вимірювальні прилади, з встановленими методами передавання та похибок передавання. Тому повірочна схема регулює найбільш зручну систему передавання розміру одиниці

фізичного розміру до засобів вимірювання на існуючому рівні розвитку вимірювальної техніки.

Існують державні, відомчі та локальні схеми повірки.

**Державна повірочна схема** – схема, яка застосовується до всіх ЗВТ фізичної величини, що існує в країні.

**Відомча схема** – повірочна схема, яка застосовується до вимірювальних приладів для відомчого використання.

**Локальна повірочна схема** – схема, яка застосовується до використовуваних засобів вимірювання.

## РОЗДІЛ 2.

### ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

При забезпеченні єдності вимірювання важливо уніфікувати одиниці фізичних величин. Для цього впроваджена Міжнародна система одиниць СІ.

Міжнародна система одиниць вимірювання - когерентна система одиниць, прийнята та рекомендована Генеральною конференцією з ваг і мір (ГКМВ) у жовтні 1960 р. На цій основі була розроблена група стандартів під назвою «Метрологія. Одиниці фізичних величин» [7-9], яка набула чинності 1 січня 1999 р. Ця група стандартів розроблена на основі міжнародних стандартів ISO 31: 1992 та ISO 1000: 1992 і складається з трьох документів із такі назви:

ДСТУ 3651.0 - 97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення;

ДСТУ 3651.1 - 97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення;

ДСТУ 3651.2 - 97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа. Основні положення, позначення, назви та значення.

Ці стандарти встановлюють одиниці фізичних величин, які підлягають обов'язковому застосуванню в Україні, а також їх назви, визначення та правила використання цих одиниць. Основні та похідні одиниці Міжнародної системи одиниць, а також їх десяткові кратні та їх часткові одиниці підлягають обов'язковому використанню в Україні.

Стандарт не розповсюджуються на одиниці, які використовуються при дослідженні та публікації його результатів, якщо вони не враховують і не використовують результати вимірювань конкретних фізичних величин, а також на одиниці, отримані за допомогою експертних оцінок або умовних шкал (наприклад : Сейсмічні шкали Бофорта та шкали твердості Ріхтера, Роквелла та Віккерса, шкали світлочутливості матеріалів, шкали інтенсивності кольору, міжнародна шкала цукру тощо).

Назви та позначення одиниць, регульованих цими стандартами, повинні використовуватися в нормативних документах, у всіх видах документації, що розробляється або переглядається, у розробленому вимірювальному обладнанні, у науково -технічних виданнях, навчальній та довідковій літературі, у навчальному процесі навчальних закладів.

Міжнародні типи позначень одиниць слід використовувати у всіх видах документації на експортну продукцію, включаючи супровідну документацію; у документації, що залишається у виробника, дозволено використовувати українські позначення.

Міжнародні позначення одиниць слід використовувати на всьому вимірjuвальному обладнанні на табличках, шкалах і щитках. Міжнародні позначення одиниць також слід використовувати при маркуванні продукції.

Одночасне використання міжнародних та українських позначень одиниць в одному виданні не допускається, за винятком позначень одиниць фізичних величин.

Інші системи одиниць підлягають видаленню. Крім того, допускається використання обмеженого набору одиниць позасистемних відносно системи SI.

Позасистемні одиниці, поділяються на три типи:

- дозволені разом з одиницями SI,
- тимчасово прийнятні для використання
- підлягаючі вилученню з використання.

## **2.1 Міжнародна система одиниць SI. Основні положення**

**Міжнародна система одиниць SI** – це система основних та похідних одиниць, які загалом утворюють когерентну систему одиниць [7].

### **2.1.1 Основні переваги SI**

- **універсальність** – система охоплює всі галузі науки і техніки;

- **уніфікація** одиниць для всіх галузей промисловості та усіх видів вимірювань.

До прикладу, замість раніше використаних одиниць роботи та енергії (кгс м, ерг, кал, Вт·с, Дж та інші) у SI встановлюється одна одиниця системи – джоуль (Дж) як одиниця роботи, енергії та кількості тепла.

- **когерентність одиниць** – усі похідні одиниці SI отримуються з рівнянь співвідношення між значеннями, в яких коефіцієнти дорівнюють одиниці;

- можливість **відтворення** одиниць з **високою точністю** відповідно до їх визначення;

- **спрощення** представлення рівнянь та формул у фізиці, хімії та інших науках через відсутність коефіцієнтів перетворення;

- спільна система утворення **кратних і часткових** одиниць для одиниць, що мають власні назви;

- зменшення кількості одиниць, дозволених до використання.

## **2.1.2 Одиниці та числові значення фізичних величин**

**2.1.2.1** Однорідні фізичні величини визначаються кількісно, з викори станням спеціальної величини, умовно названу одиницею, як добуток цієї одиниці і числа:

$$A = \{ A \} [A], \quad (2.1)$$

де  $A$  — символ величини,  $[A]$  — одиниця величини,  $\{ A \}$  — числове значення величини  $A$ .

**Символ величини** — умовний знак, що прийнятий для позначення різних фізичних величин, які відносяться до одного роду.

**Позначення одиниці** — умовна аббревіатура з літер слів, які входять до назви одиниці, або спеціальні знаки (спеціальний знак).

Прикладом однорідних величин є: довжина, висота, діаметр, відстань, шлях, довжина хвилі тощо. Усі вони мають одиницю – метр. Якщо довжина хвилі, що відповідає одній з ліній спектру натрію, дорівнює  $\lambda = 5,896 \cdot 10^{-7}$  м, то  $5,896 \cdot 10^{-7}$  – числове значення довжини хвилі;  $\lambda$  – символ величини – довжини хвилі; вираженої в метрах; м – позначення одиниці довжини – метра.

### 2.1.2.2 Величина є незалежною від вибору одиниці.

Якщо величина виражена в іншій одиниці, у  $k$  разів більшій (меншій) за першу одиницю, то числове значення величини стає в  $k$  разів меншим (більшим) ніж перше числове значення.

#### До прикладу.

Зміна одиниці довжини хвилі з метра на нанометр, що який у  $10^9$  разів менший від метра, призводить до збільшення числового значення довжини хвилі у  $10^9$  разів:  $\lambda = 5,896 \cdot 10^{-7}$  м =  $5,896 \cdot 10^{-7} \cdot 10^9$  нм = 589,6 нм. Довжина хвилі при цьому залишається незмінною.

### 2.1.2.3 Числове значення величини, вираженої певною одиницею, позначають її символом, у фігурних дужках з доданням одиниці як нижнього індексу або у вигляді відношення величини до вибраної одиниці.

Приклад.

Довжину хвилі у нанометрах:  $\{\lambda\}_{\text{нм}} = \lambda/\text{нм} = 589,6$ .

**2.1.3 Рівняння для величин та рівняння для їх числових значень**

**2.1.3.1** Додавання та віднімання здійснюється лише для однорідних величин.

Неоднорідні величини  $A$  і  $B$  можна множити та ділити за правилами алгебри:

$$AB = \{A\}\{B\} - [A][B], \quad (2.2)$$

$$\frac{A}{B} = \frac{\{A\}[A]}{\{B\}[B]}, \quad (2.3)$$

добуток  $\{A\} \cdot \{B\}$  – числове значення  $\{A \cdot B\}$  величини  $A \cdot B$ ;

добуток  $[A] \cdot [B]$  – одиниця  $[A \cdot B]$  величини  $A \cdot B$ ;

частка  $\{A\}/\{B\}$  – числове значення  $\{A/B\}$  величини  $A/B$ ;

частка  $[A]/[B]$  – одиниця  $[A/B]$  величини  $A/B$ .

До прикладу, швидкість  $v$  частинки, яка рухається рівномірно і прямолінійно, задається рівнянням  $v = l/t$ , де  $l$  – шлях, який пододала частинка за проміжок часу  $t$ . Якщо частинка пододала шлях  $l = 6$  м за час  $t = 2$  с, то її швидкість дорівнює  $v = l/t = (6 \text{ м})/(2 \text{ с}) = 3 \text{ м/с}$ .

**2.1.3.2.** Існують такі типи рівнянь: **рівняння для величин**, де символи величин позначають їхні значення, та **рівняння для числових значень величин**

Рівняння для числових значень величин часто задається **емпіричними** формулами, які отримуються у фізичному досліді, а їхній вигляд залежить від вибору одиниць. Одиниці величин, використаних у таких рівняннях, чітко визначені у самому рівнянні або у контексті. Рівняння для величин не залежать від вибору одиниць, тому саме їм надають перевагу.

#### До прикладу

Коли дослідно шлях визначено метрах, час – у секундах, а швидкість – у кілометрах на годину, то емпірична залежність  $\{v\} \text{ км/год} = 3,6 \{l\} \text{ м}/\{t\} \text{ с}$  задає рівняння для числових значень величин. Числовий множник 3,6 отримується як наслідок вибору одиниць

величин; при іншому виборі одиниць цей множник інший. Співвідношення  $v = l t$  є рівнянням для величин, і його вигляд не залежить від вибору одиниць довжини, часу та швидкості.

## 2.1.4 Розмірності величин

**2.1.4.1 Розмірністю** є якісна характеристика фізичної величини, що дає уявлення про тип величини, природу, про зв'язок цієї величини з іншими, одиниці яких ми прийняли як основні.

### 2.1.4.2 Основними значеннями СІ є

довжина, L

час, T

стіл, M

електричний струм I

термодинамічна температура,  $\Theta$

кількість речовини, N

потужність світла, J.

**2.1.4.3** Розмір фізичної величини Q у СІ виражається наступним добутком

$$\dim Q = L^a M^b T^c I^d \Theta^e N^f J^g, \quad (2.4)$$

$\dim$  - умовний символ розмірності;

$a, b, c, d, e, f, g$  – раціональні числа, які є показниками розмірності величин. Набір розмірних показників не можна назвати розмірністю величини.

Наприклад.

Розмірність фізичної величини роботи  $W$  визначається як  $\dim W = L^2 M T^{-2}$ , де розмірні показники відповідно 2, 1, -2. Добуток, який визначає розмірність будь-якої безрозмірної величини, рівний 1. Такі величини мають розмірність 1 і є числами.

Розмірність задає зв'язок між фізичними величинами, але при цьому не визначає природу величини. Можна знайти ряд величин, розміри похідних одиниць для яких збігаються, хоча ці величини різні за своєю природою.

До прикладу, розмірність величини роботи (енергії) та величини сили однакові  $L^2 M T^{-2}$ , а за своєю природою це різні величини.

Поняття розмірності корисне для перевірки результату виведення складних виразів. Отримавши

рівняння, яке демонструє залежність між фізичними величинами, спочатку визначається розмірність лівої та правої частин рівняння, котрі повинні бути однаковими. Якщо вони не рівні, це значить, що в процесі виведення була допущена помилка або що рівняння включає неврахований розмірний коефіцієнт.

### **2.1.5 Кратні та часткові одиниці SI**

Розмір метричних одиниць у Міжнародній системі одиниць (СИ) є незручним для багатьох випадків практики: вони занадто великі або замалі. Тому широко використовується поняття кратних та частинних одиниць. Одночасно з прийняттям Міжнародної системи одиниць SI XI, генеральна конференція мір та ваг прийняла 12 кратних і часткових десяткових префіксів, до яких у наступних конференціях додавалися нові. Наразі існує 20 префіксів.

**2.1.5.1** У межах SI, яка є когерентною системою, до основних одиниць системи, додаються десяткові кратні та часткові одиниці, сформовані за допомогою спеціально рекомендованих коефіцієнтів, а їх назви та позначення - з назв та позначень вихідних одиниць за допомогою відповідних префіксів.

Множники, префікси та їхні позначення приведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

**Множники, префікси та їхні позначення  
для кратних і частинних одиниць SI**

Префікс	Позначення		Множни к	Приклади
	міжна -родне	укр. (рос.)		
йота	Y	Й	$10^{24}$	йотаметр – Йм (Ym)
зета	Z	ЗТ	$10^{21}$	зетаграм – ЗТг (Zg)
екса	E	Е (Э)	$10^{18}$	ексабекерель – ЕБк (EBq)
пета	P	П	$10^{15}$	петаджоуль – ПДж (PJ)
тера	T	Т	$10^{12}$	терагерц – ТГц (THz)
гіга	G	Г	$10^9$	гігаватт – ГВт (GW)
мега	M	М	$10^6$	мегаом – МОм (MΩ)
кіло	k	к	$10^3$	кілометр – км (km)
гекто	h	г	$10^2$	гектолітр – гл (hl)
дека	da	да	$10^1$	декалітр – дал (dal)
деци	d	д	$10^{-1}$	дециметр – дм (dm)
санти	c	с	$10^{-2}$	сантиметр – см (cm)
мілі	m	м	$10^{-3}$	мілівольт – мВ (mV)
мікро	μ	мк	$10^{-6}$	мікроампер – мкА (μA)
нано	n	н	$10^{-9}$	наносекунда – нс (ns)
піко	p	п	$10^{-12}$	пікофарад – пФ (pF)
фемто	f	ф	$10^{-15}$	фемтокулон – фКл (fC)
ато	a	а	$10^{-18}$	атограм – аг (ag)
zepto	z	зп	$10^{-21}$	zeptovolt – зпВ (zV)
йокто	y	й	$10^{-24}$	йоктометр – йм (ym)

**2.1.5.2** Префікс і його позначення пишеться разом з назвою одиниці чи її позначенням. До прикладу, ексабеккерель, ЕБк; кілометр, км; декалітр, дал тощо.

**2.1.5.3** Позначення префіксу, додане до основної або похідної одиниці SI, формує нову кратну або часткову одиницю зі своїм окремим позначенням; його можна піднести до додатного чи від'ємного степеня, а показник степеня позначає всю одиницю, взяту з префіксом.

Основна одиниця SI – кілограм – у своїй назві вже містить префікс "кіло", тому для утворення кількох та часткових одиниць маси необхідно використовувати часткову одиницю грамів (0,001 кг) та префікси - для додавання до слова "грам".

Позначення кратної або часткової одиниці не можна інтерпретувати як добуток позначення префікса та одиниці.

До прикладу:

$$1 \text{ см}^3 = (10^{-2} \text{ м})^3 = 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$1 \text{ мкс}^{-1} = (10^{-6} \text{ с})^{-1} = 10^6 \text{ с}^{-1}.$$

**2.1.5.4** Складені з двох або більше префіксів поспіль позначення не допускаються. Наприклад, замість

мілімікрометра (1 мм) слід використовувати нанометр (1 нм); замість мікрокілограмів (1 мкг) - міліграми (1 мг).

**2.1.5.5** Якщо одиниця, до якої вибрано префікс, утворена як добуток або співвідношення одиниць, префікс додається до назви першої одиниці.

Наприклад, для одиниці паскаль-секунди на метр (Па с / м)

правильно: кілопаскаль-секунда на метр (кПа с / м),

неправильно: паскаль-кілосекунда на метр (Па кс / м).

Однак для переліку одиниць, які стали узагальненими, префікс можна використовувати у другому множинику.

Приклад: тонна-кілометр (т км), ват на квадратний сантиметр (Вт / см<sup>2</sup>), вольт на сантиметр (Вт / см), ампер на квадратний міліметр (А / мм<sup>2</sup>).

**2.1.5.6** Вибираючи десяткові кратні та частки SI, керуються зручністю використання. Множник і префікс потрібно вибрати таким чином, щоб числове значення значення було від 0,1 до 1000.

Нариклад

$1,2 \cdot 10^4$  м можна записати як 12 км;

0,00394 м можна записати як 3,94 мм;

1401 Па можна записати як 1,401 кПа;

$3,1 \cdot 10$  с можна записати як 310 мкс;

для переміщення на значення  $10^{-4}$  м вибір міліметрової одиниці дає значення 0,1 мм, а вибір мікрометра - 100 мкм. Тому обидва представлення задовольняють прийнятним правилам. Вибір одиниці залежить від необхідного діапазону вимірювань, точності зчитування та інших факторів.

У таблицях числових значень величини, при порівнянні цих значень у тексті варто використовувати єдину кратну чи частинну одиницю величини, навіть якщо числові значення величини не знаходяться в діапазоні від 0,1 до 1000 .

Для деяких галузей техніки завжди застосовується кратна чи частинна одиниця. Як пприклад, лінійні розміри на машинобудівних інженерних кресленнях завжди наводяться в міліметрах. Префікси дека, гекто, деци і санти застосовуються відносно не часто, оскільки в більшості випадків вони не приносять значних переваг. Однак в

окремих випадках історично зручні: сантиметр, гектар, декалітр тощо.

**2.1.5.7** Слід мінімізувати кількість використаних кратних та часткових одиниць. У таблиці 2.2 представлені рекомендовані кратні та часткові одиниці SI [7].

Перелік кратних і часткових одиниць для даної фізичної величини не є ні вичерпним, ні строго обмеженим.

**2.1.5.8** Під час розрахунків необхідно замінити префікси на відповідні коефіцієнти (ступені числа 10). У такому разі кінцевий результат повинен бути представлений за допомогою кратних та часткових одиниць.

**2.1.5.9** Для довільної безрозмірної величини когерентною одиницею є одиниця із позначенням 1. Ця одиниця не записується після числового значення безрозмірної величини.

До прикладу: показник заломлення

$$n = 1,53 \cdot 1 = 1,53.$$

**2.1.5.10** Десяткові кратні та часткові одиниці не можуть бути утворені за допомогою префіксів числа 1, в цьому випадку вони виражаються степенями числа 10.

Наприклад: Кількість молекул  $N = 1,2 \cdot 10^{23}$ .

Для числа 0,01 дозволяється використовувати спеціальне позначення % (відсоток).

Наприклад: коефіцієнт відбиття  $r = 0,8 = 80\%$ .

Варто уникати символу ‰ (проміле) для числа 0,001.

Не припускається використання "масовий відсоток" або "об'ємний відсоток" відповідно. Якщо необхідно підкреслити, що це масова або об'ємна частка, необхідно використовувати спеціальний термін, наприклад, "масова частка кальцію рівна 67%", або, відповідно, "об'ємна частка водню" рівна 75%.

Також можете використовувати спеціальні символи, наприклад: масова частка 5 мг / г, об'ємна частка 4,2 мл / м<sup>3</sup>.

**2.1.5.11** Певні частинні та кратні одиниці отримали у свій час особливі назви, які збереглися до наших днів.

Наприклад, як одиниці, не використовуються кратні секунди, а одиниці, які склалися історично: 1 хв = 60 с; 1

рік = 60 хв = 3600 с; 1 день = 24 роки = 86400 с;

1

тиждень = 7 днів = 604 800 с.

### 2.1.6 Основні одиниці SI

Міжнародна система одиниць SI має сім основних одиниць (метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, моль, кандела). Інформація про них наведена в таблиці 2.2.

13 Генеральна конференція мір та ваг 1967 року (Резолюція 4) постановила використання одиниці кельвін та її позначення K для вираження діапазону або різниці температур.

На додаток до термодинамічної температури (T), вираженої у кельвінах, допустимо використовувати температуру Цельсія (t), що визначається співвідношенням ( $t = T - T_0$ , де  $T_0 = 273,16$  K за визначенням). Дозволяється застосовувати вираз «температура Цельсія» та одиниця виміру «градуси Цельсія». Розмір градусів Цельсія дорівнює Кельвіну. Інтервал температури Цельсія може бути виражений як у кельвінах, так і в градусах Цельсія.

## Основні одиниці SI

Одиниця				Величина			
Назва	Позначення		Визначення	Рекомендовані кратні та частинні одиниці	Назва	Розмірність	Символ
	між-нар.	укр. (рос.)					
метр	m	м	↓	км, см, мм, мкм, нм, пм, фм	довжина	L	<i>l, L</i>
<i>Метр</i> дорівнює довжині шляху, який проходить у вакуумі світло за $1/299\,792\,458$ частину секунди [17 ГКМВ (1983 р.), Резолюція 1]							
кілограм	kg	кг	↓	кг, г, мг, мкг	маса	M	<i>m</i>
<i>Кілограм</i> є одиницею маси і дорівнює масі міжнародного прототипу кілограма [3 ГКМВ (1901 р.)]							
секунда	s	с	↓	кс, мс, мкс, нс	час	T	<i>t, T</i>
<i>Секунда</i> є час, що дорівнює $9\,192\,631\,770$ періодам випромінювання, яке відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезія-133 [13 ГКМВ (1967 р.), Резолюція 1]							
ампер	A	А	↓	кА, мА, мкА, нА	сила електричного струму	I	<i>I</i>
<i>Ампер</i> є сила незмінного струму, який під час проходження по двох безмежно довгих паралельних прямолінійних провідниках малого кругового перерізу, розташованих на відстані 1 м один від одного у вакуумі, викликає би на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії $2 \cdot 10^{-7}$ Н [МКМВ (1946 р.), Резолюція 2 схвалена 9 ГКМВ (1948 р.)]							
кельвін	K	К	↓	МК, кК, мК, мкК	термодинамічна температура	Θ	<i>T, Θ</i>
<i>Кельвін</i> є одиницею термодинамічної температури і дорівнює $1/273,16$ частині термодинамічної температури трітійної точки води [13 ГКМВ (1967 р.), Резолюція 4]							
моль	mol	моль	↓	кмоль, ммоль, мкмоль	кількість речовини	N	<i>N</i>
<i>Моль</i> є кількість речовини системи, яка містить стільки ж структурних елементів, скільки міститься атомів у вуглецю-12 масою $0,012$ кг. За застосування моль структурні елементи повинні бути специфіковані і можуть бути атомами, молекулами, йонами, електронами або іншими частинками чи специфікованими групами частинок [14 ГКМВ (1971 р.), Резолюція 3]							
кандела	cd	кд	↓		сила світла	J	<i>I<sub>v</sub></i>
<i>Кандела</i> є сила світла у заданому напрямі від джерела, яке випромінює монохромне випромінювання частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, енергетична сила світла якого у цьому напрямі становить $1/683$ Вт/ср [16 ГКМВ (1979 р.), Резолюція 3]							

20 Генеральна конференція мір та ваг 1995 року, (Резолюція 8) постановила, що радіан та стерадіан, як клас додаткових одиниць SI, визначено як безрозмірні похідні одиниці, назви і символи яких можуть (там, де це зручно), але не обов'язково мають використовуватись у вираженні інших похідних одиниць SI; таким чином клас додаткових одиниць вилучено зі складу SI.

## **2.1.7 Похідні одиниці SI**

**2.1.7.1** SI є когерентною системою одиниць, тому в ній рівняння між числовими значеннями величин мають таку саму форму (включаючи числові множники), як і відповідні рівняння між величинами.

**2.1.7.2** Когерентні похідні одиниць SI формуються за допомогою рівнянь визначення, в яких, як правило, числовий коефіцієнт дорівнює 1. Для утворення похідних одиниць у даних рівняннях значення вибираються такими, що дорівнюють одиницям SI. Одиниці, похідні від SI зі спеціальними назвами (Таблиця 2.3), також можуть бути використані для формування інших одиниць, похідних від SI.

Визначальне рівняння є найпростішим рівнянням співвідношення між фізичними величинами, яке

використовується для їхнього визначення та визначення розмірності.

**2.1.7.3** Іноді визначальне рівняння містить числовий коефіцієнт, відмінний від одиниці. Потім, формуючи похідну одиницю для однієї з величин у правій частині цього рівняння, оберається числове значення, обернене цьому множнику.

### Приклади

Величина, її визначальне рівняння, з похідною одиницею SI

$$\text{Момент сили } M = F \cdot l, \quad [M] = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

де  $F$  – сила,

$l$  – її плече.

Кінетична енергія  $E_k = (mv^2) / 2$ .  $[E_k] = (2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2) / 2 = 1 \text{ Дж}$ .

Останній приклад демонструє, що одиниця джоуля описує кінетичну енергію, якою володіє в тіло масою 2 кг, що рухається зі швидкістю 1 м/с.

**2.1.7.4** Одиниці електричних та магнітних величин SI утворюються з допомогою рівнянь електромагнітного поля у раціоналізованій формі.

**2.1.7.5** Для безрозмірних величин, **когерентна одиниця** – задає число один яке позначається одиницею.

**2.1.7.6** Безрозмірні величини, одиниці яких позначаються спеціальними назвами [до прикладу, радіан (рад, rad), стерадіан (с р, sr), непер (Нп, N p)], замість числа «один», в залежності від контексту, застосовуються спеціальні назви.

До прикладу.

Площинний кут позначають  $a = 0,5 = 0,5$  рад.  
Просторовий кут позначають  $W = 2,3 = 2,3$  с р. Рівень силової величини  $L F = 12 = 12$  Нп.

**2.1.7.7** Для похідних одиниць, які не визначаються спеціальними назвами, застосовують позначення одиниць, які містять найменше число одиниць SI з мінімальними показниками степенів.

**2.1.7.8** Додаток А [8] демонструє найбільш найпоширеніші похідні одиниці SI. При необхідності використання інших одиниць SI, користуються правилами, 2.1.7.2. – 2.1.7.7.

## **2.2 Позасистемні одиниці, які застосовуються нарівні з одиницями SI**

Згідно ДСТУ 3651.1 – 97 допускається до застосування нарівні з одиницями SI:

1) Позасистемні одиниці, приведені в таблиці 2.4, а також їх поєднання з одиницями SI; їх десяткові кратні і частинні одиниць.

2) Безрозмірні відносні та логарифмічні одиниці, (таблиця 2.5).

За рекомендаціями Міжнародної електротехнічної комісії при необхідності вказування вихідної величини, (для якої зазначено логарифмічну величину) значення вихідної величини розміщують у дужках після позначення логарифмічної величини.

До прикладу, рівень звукового тиску: L P(re 20 мкПа)  
= 20 дБабо L P(re 20 μPa) = 20 d B

(re – початкові літери слова «reference», тобто «відліковий»), 20 мкПа (20  $\mu$ Pa) – вихідний тиск.

Стисла форма запису значення вихідної величини зазначається у дужках після значення логарифмічної величини. До прикладу, 20 дБ (re 20 мкПа) або 20 d B (re 20  $\mu$ Pa).

**Позасистемні одиниці, що їх допущено до застосування  
нарівні з одиницями SI і у сполученні з ними**

Назва величини	Одиниця				Примітки
	Назва	Позначення		Співвідношення з одиницями SI	
		міжс.	укр. (рос.)		
Час <sup>*)</sup>	хвилина	min	хв (мин)	1 хв = 60 с	Не допустимо застосовувати з префіксами
	година	h	год (час)	1 год = 3600 с	
	доба	d	д (сут)	1 д = 24 год = 86400 с	
Площинний кут	градус	...°	...°	1° = (π / 180) рад	Не допустимо застосовувати з префіксами. Можна застосовувати, якщо не використано радіан
	хвилина	...'	...'	1' = (1/60)° = = (π / 10 800) рад	
	секунда	..."	..."	1" = (1/60)' = = (π / 648 000) рад	
Об'єм, місткість	Літр <sup>**)</sup>	l чи L	л	1 л = 1 дм <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>	Літр є спеціальною назвою кубічного дециметра
Маса	Тонна	t	т	1 т = 10 <sup>3</sup> кг	Значення атомної одиниці маси визначено експериментально; її недопустимо застосовувати з префіксами
	(уніфікована) атомна одиниця маси <sup>***)</sup>	u	а.о.м. (а.е.м.)	1 а.о.м. ≈ ≈ 1,660 540 · 10 <sup>-27</sup> кг	
Енергія	електрон-вольт	eV	eВ (эВ)	1 eВ ≈ ≈ 1,602 177 · 10 <sup>-19</sup> Дж	Значення електронвольта визначено експериментально

\*) Також дозволяється використовувати одиниці часу: тиждень, місяць, рік тощо, але його визначення часто потребує уточнення.

\*\*\*) Не рекомендовано для точних вимірювань. Міжнародні позначення для цієї одиниці L

використовуються, коли можна сплутати позначення 1 з числом 1.

\*\*\*) Слово «уніфікований» у дужках є необов'язковим.

## Деякі відносні та логарифмічні величини і їхні одиниці, що їх допущено до застосування нарівні з одиницями SI

Назва величини	Одиниця			Визначення
	Назва	Позначення		
		укр. (рос.)	міжн.	
1. Відносна величина: коефіцієнт корисної дії, відносне подовження, відносна густина, відносні діелектрична та магнітна проникності, масова частка тощо	один (число 1)	1	1	Безрозмірнісне відношення величини до однорідної з нею величини, яку обрано за вихідну
	відсоток	%	%	1 % = 0,01
2. Логарифмічна величина: рівень величини, коефіцієнт підсилення, коефіцієнт ослаблення тощо	один	1	1	Логарифм (натуральний або десятковий) безрозмірнісного відношення однорідних величин
2.1 Те саме, рівень силової (амплітудної) величини <sup>1)</sup> $F$ : рівень звукового тиску, логарифмічний декремент загасання тощо	непер	Нп	Нр	1 Нп = $\ln(F/F_0)$ при $F = e \cdot F_0$ , де $F_0$ – однорідна з $F$ величина, що її обрано за вихідну, $e$ – основа натуральних логарифмів
	бел	Б	В	1 Б = $2 \cdot \lg(F/F_0)$ при $F = \sqrt{10} \cdot F_0$ , де $F_0$ – однорідна з $F$ величина, що її обрано за вихідну
	децибел	дБ	дВ	1 дБ = 0,1 Б
2.2 Те саме, рівень енергетичної (потужнісної) величини <sup>1)</sup> $P$	непер	Нп	Нр	1 Нп = $0,5 \ln(P/P_0)$ при $P = e^2 \cdot P_0$ , де $P_0$ – однорідна з $P$ величина, що її обрано за вихідну, $e$ – основа натуральних логарифмів
	бел	Б	В	1 Б = $\lg(P/P_0)$ при $P = 10 \cdot P_0$ , де $P_0$ – однорідна з $P$ величина, що її обрано за вихідну
	децибел	дБ	дВ	1 дБ = 0,1 Б
2.3 Те саме, рівень гучності	фон	фон	phon	1 фон дорівнює рівню гучності звуку, для якого рівень звукового тиску рівногучного з ним звуку частотою 1000 Гц дорівнює 1 дБ
2.4 Те саме, частотний інтервал	декада	дек	–	1 дек = $\lg(f_2/f_1)$ при $f_2/f_1 = 10$ , де $f_1, f_2$ – частоти
	октава	окт	oct	1 окт = $\log_2(f_2/f_1)$ при $f_2/f_1 = 2$ , де $f_2$ та $f_1$ – частоти

\*) Прикладами величин сили (амплітудні) є напруга, струм, тиск, напруженість поля тощо.

\*\*) До величин енергії (потужнісні) належать потужність, густина енергії тощо.

Примітка 1. При визначенні логарифмічних одиниць (непер, белл) передбачається, що між співвідношенням енергії (потужності сигналу) та відповідним співвідношенням сил (амплітуд сигналу)  $F$  є квадратична залежність (це переважна більшість практичних випадків), тобто  $P_2/P_1 = (F_2/F_1)^2$ . Якщо такої залежності немає (наприклад, у теорії автоматичного регулювання), то визначення цих одиниць, внаслідок сучасної практики, залишається незмінним.

Примітка 2. Найчастіше використовуються початкові значення для деяких величин:

- для рівня звукового тиску  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па;
- для рівня звукової потужності  $N_0 = 10^{-12}$  Вт;
- для рівня інтенсивності звуку  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>;
- для рівня сигналу у волоконно оптичних лініях зв'язку  $N_0 = 10^{-3}$  Вт

## **2.3 Позасистемні одиниці, які тимчасово допускаються до використання нарівні з одиницями SI**

**2.3.1** Позасистемні одиниці, (таблиці 2.6), їх поєднання з одиницями SI, десяткові кратні і частинні від зазначених одиниць є допустимими тимчасово застосовувати нарівні з одиницями SI, до прийняття відповідних міжнародних ухвал.

Таке тимчасове допускання, пов'язане з розповсюдженням використанням. Наприклад, миля і вузол застосовуються в морській навігації усіх країн.

**2.3.2** Позасистемні одиниці, а також десяткові кратні й частинні від них, які допускаються до використання для спеціальних галузей науки, техніки, господарства, регламентуються відповідними галузевими стандартами. Приклади одиниць подані у таблиці 2.7 (додаток Б [8]).

Таблиця 2.6

**Позасистемні одиниці, що їх тимчасово допущено до застосування до прийняття за ними відповідних міжнародних ухвал**

Назва величини	Одиниця				Галузь використання
	Назва	Позначення		Співвідношення з одиницями SI	
		міжн.	укр. (рос.)		
Довжина	морська миля ангстрем	n mile А	миля А	1 миля = 1852 м 1 А = 10 <sup>-10</sup> м	Морська навігація Оптика
Площа	ар гектар	а га	а га	1 а = 10 <sup>2</sup> м <sup>2</sup> 1 га = 10 <sup>4</sup> а = 10 <sup>4</sup> м <sup>2</sup>	Сільське господарство
Швидкість	вузол	knot	вуз (уз)	1 вуз = 1 миля/год = = 0,514(4) м/с	Морська навігація
Тиск	бар	bar	бар	1 бар = 10 <sup>5</sup> Па	Винятково для вираження тиску рідин та газів (метеорологія та ін.)
Активність	кюрі	Ci	Ki (Ки)	1 Ki = 3,7·10 <sup>10</sup> Бк	Атомна та ядерна фізика
Поглинута доза	рад	rad	рад	1 рад = 10 <sup>-2</sup> Гр	Радіаційна фізика та медична радіологія
Еквівалентна доза	рем	rem	рем (бэр)	1 рем = 10 <sup>-2</sup> Зв	Те саме
Експозиційна доза	рентген	R	Р	1 Р = 2,58·10 <sup>-4</sup> Кл/кг	Те саме

**2.3.3** Назви і позначення похідних одиниць Гауссової симетричної системи – дина, ерг, пуаз, стокс, гаус, ерстед і максвел, не використовуються разом з одиницями SI.

## **2.4** **Одиниці, підлягаючі вилученню**

Усі інші позасистемні одиниці, окрім тих, які зазначені у 2.1-2.3, підлягають вилученню, і вважаються недопустимими до використання.

## **2.5** **Правила написання символів величин, назв та позначень одиниць**

**2.5.1** Символ величини - це окремі літери латинського або грецького алфавіту, іноді з введенням нижнього та/або верхнього індексу. Символи друкуються курсивом, незалежно яким шрифтом надруковано весь текст. Символи з літер грецького алфавіту, можна друкувати прямим шрифтом.

**2.5.2** Символи векторної величини – можна надрукувати жирним шрифтом або супроводити

спеціальною позначкою (стрілкою над символом величини).

**2.5.3** Якщо в тексті різні значення мають однакові символи, різницю між ними можна продемонструвати за допомогою індексу. Якщо індекс є символом значення, він друкується курсивом; інакше – прямим шрифтом.

До прикладу.

Прямі індекси:

$C_{\Gamma}$  ( $\Gamma$  – газ)

$g_n$  ( $n$  – нормаль)

$\chi_e$  ( $e$  – електрична)

$T_{1/2}$  ( $1/2$  – число)

Похилі індекси:

$C_p$  ( $p$  – тиск)

$l_{\lambda}$  ( $\lambda$  – довжина хвилі)

$p_x$  ( $x$  – координата)

$a_{ik}$  ( $i, k$  – поточні індекси)

**2.5.4** Числа для числових значень величини друкують прямим шрифтом.

**2.5.5** Розмірності величин друкують за допомогою прямого шрифту, великими літерами.

**2.5.6** Назви одиниць SI пишуться з малої літери. Позначення одиниць SI також пишуться з малої літери, за виключенням тих одиниць, назви яких походять від прізвищ вчених (вольт, ньютон, ампер, герц тощо). Такі одиниці пишуться з великої літери [(B, V), (H, N), (A, A), (Гц, Hz) тощо]. Для здійснення уніфікації написання позначень дане правило також розповсюджується на позначення позасистемних SI одиниць. До прикладу, (Mкс, Mх) – максвел, (eВ, eV) – електронвольт, (Е, Е) – ерстед.

**2.5.7** Для назв одиниць площі та об'єму використовують уточнення «квадратний» та «кубічний» (квадратний метр, кубічний сантиметр), включаючи випадки, коли одиниця входить у похідну одиницю іншої величини. До прикладу, одиниця густини речовини – кілограм на кубічний метр, одиниця електричного зміщення – кулон на квадратний метр.

У випадку, коли другий чи третій степінь довжини не відображають площу чи об'єм, використовують вирази «у квадраті» або «у другому степені», «у кубі» або «у третьому степені». До прикладу, одиниця моменту опору площинної фігури – метр у третьому степені.

**2.5.8** Для назв одиниць, що містять частку від ділення однієї одиниці на іншу, назви одиниць знаменника пишуться з прийменником «на», наприклад, одиниця прискорення – метр на секунду у квадраті, одиниця напруженості магнітного поля – ампер на метр. Для одиниць величин, які залежать від часу у першому степені і є характеристиками швидкості плину процесів, назву одиниці часу, яка міститься у знаменнику, пишуть з прийменником «за», наприклад, одиниця швидкості – метр за секунду.

**2.5.9** Для похідних одиниць, що містять добуток двох чи більше одиниць, на письмі назви одиниць сполучені дефісом. До прикладу, вольт-квадратний метр, ньютон-метр.

**2.5.10** При утворенні від похідних одиниць SI кратних і частинних одиниць префікс чи його позначення записується з назвою одиниці чи, її позначенням. Коли одиницю утворено шляхом добутку чи ділення одиниць, префікс сполучають з назвою першої одиниці, що входить у співвідношення.

Правильно:

(аКл·м<sup>2</sup>/К)

Неправильно:

(Кл·нм<sup>2</sup>/К)

У разі, коли з історично прийнято використовувати одиницю з префіксом, що сполучений з назвою іншої, наступної одиниці (наприклад, кіловольт на сантиметр, ампер на квадратний міліметр тощо), рекомендовано перехід до правильно утворених кратних і частинних одиниць (мегавольта на метр, мегаампера на квадратний метр відповідно).

**2.5.11** Назви для кратних і частинних одиниць, що підносяться до степеня, утворюють шляхом приєднання префікса до назви початкової одиниці. До прикладу, кратна одиниця від квадратного метра – квадратний кілометр (початкова одиниця – метр); часткова одиниця від секунди другому степені – мікросекунда у другому степені.

**2.5.12** При утворенні кратних і частинних одиниць в його сполученні з назвою одиниці не дозволено відкидати останню літеру префікса.

Правильно:

кілоом, мегаом, мегаампер

Неправильно:

кілом, мегом, мегампер

**2.5.13** При написанні позначень одиниць використовують літери чи спеціальні знаки (...°, ...', ...", %). Застосовуються два види літерних позначень: українські

(літери української абетки) і міжнародні (літери латинської чи грецької абетки).

До позначень одиниць, їхніх назв не додають інші літери чи слова, що мали б вносити додаткову інформацію про фізичну величину, об'єкт чи умови вимірювального процесу. У таких ситуаціях сполучають визначальні слова і назви величин, а одиницю позначають згідно зі стандартом.

Правильно:

Неправильно:

погонна довжина 5 м;

довжина 5 п.м  
(погонних метрів);

маса умовного палива 1000;

маса 1000 туп  
(тонн умовного палива);

масова частка 10 %;

частка 10 % масових;

об'ємна частка 5 %;

частка 5 % об'ємних.

Наведене вище правило стосується і міжнародних позначень одиниць.

**2.5.14** Символ величини та позначення одиниці не має змінюватися у множині. Після них крапки не ставляться, за виключенням випадків, коли це вимагається застосування пунктуації (наприкінці речення).

Позначення одиниці, яке збігається з назвою цієї одиниці, не можна змінювати за відмінками і числами, якщо його розташовано після числових значень, у заголовках граф, боковин таблиць чи у поясненнях величин до формул. До таких позначень відносять: вар, рад моль, бар, рем.

Приклади. 1 моль, 2 моль, 10 моль; 1 рем, 4 рем, 7 рем.

Виняток – позасистемна одиниця світловий рік, її позначення відмінюється: 1 св. рік; 2 св. роки; 7 св. років.

**2.5.15** Позначення одиниці розташовується в одному рядку поруч з числовим значенням величини, не переносячи на наступний рядок. Між числом і позначенням одиниці залишається проміжок.

Правильно:

1000 kW; 1000 кВт;

20 ° C; 50 ° C.

Неправильно:

1000 kW; 1000кВт;

20° C; 50° C.

Винятком є позначення єдиного спеціального знака – надрядкового індексу, перед ним проміжок не залишають.

Правильно:

30°; 40".

Неправильно:

30 °; 40 ".

**2.5.16** При присутності десяткового дробу у числовому значенні величини позначення одиниці розташовують після усіх цифр.

Правильно:

Неправильно:

423,06 т; 423,06 м.

423 т,06; 423 м,06.

**2.5.17** Коли вказується значення величини з граничними відхиленнями, то слід брати у дужки її числове значення разом з граничними відхиленнями, а після дужок розташовувати позначення одиниці. У випадку, коли дужки не застосовуються, то позначення одиниці слід розміщувати після середнього числового значення величини, а також після числового значення граничного відхилення.

Правильно:

Неправильно:

(100,0±0,1) кг;

100,0±0,1 кг;

50 г ± 1 г.

50±1 г.

У випадку, коли у тексті наведено інтервал числових значень для фізичної величини, то її одиницю вказують лише після останньої цифри, наприклад, від 100,0 до 100,1 кг, або 100,0 – 100,1 кг, або 100,0...100,1 кг.

У разі, коли у тексті наводиться ряд числових значень фізичної величини, в однакових одиницях, цю одиницю зазначається лише після останньої цифри, наприклад: 5; 6,1; 7 мм; 2 х3х9 мм.

**2.5.18** Позначення одиниць у заголовках граф та назвах рядків таблиць, а також у роз'яснюваннях величин після формул є допустимим до застосування. Не допускається розташовувати позначення одиниць біля формули, яка ілюструє співвідношення величин та їх числових значень літерній формі.

Правильно:

$$v = 3,6 \text{ s/t,}$$

де  $v$  – швидкість, км/год;

$s$  – шлях, м;  $t$  – час, с.

Неправильно:

$$v = 3,6 \text{ s/t км/год,}$$

де  $s$  – шлях у м;  $t$  – час у с.

**2.5.19** При позначенні похідних одиниць не допустимо комбінувати позначення одних одиниць та назви інших одиниць.

Правильно:

Неправильно:

80 км/год.

80 км/годину.

Допустимим є застосування сполучення спеціальних знаків ...<sup>°</sup>, ...', ..." та % та літерних позначень одиниць, наприклад, ...<sup>°</sup>/с тощо.

**2.5.20** Позначення одиниць, що входять у добуток, відокремлюють крапками на середній лінії, за аналогією зі знаком множення.

Правильно:

$N \cdot m$ ;  $H \cdot m$ ;

$A \cdot m^2$ ;  $A \cdot m^2$ .

Неправильно:

$Nm$ ;  $Hm$ ;

$A m^2$ ;  $A m^2$ .

**2.5.21** Для літерних позначень співвідношень одиниць для позначення знака ділення застосовується лише одна риска: навскісна або горизонтальна. Запис складених позначень одиниць як добуток позначень одиниць, піднесених до степенів (додатних чи від'ємних) також допускається.

Правильно:

Неправильно:

$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ;  $Вт \cdot м^{-2} K^{-1}$ ;

$W/m^2/K$ ;  $Вт/м^2/К$

Використання навіскісної або горизонтальної риски не допускається у випадку, коли для однієї з одиниць, співвідношення, застосовується позначення у вигляді від'ємного степеня (наприклад,  $c^{-2}$ ,  $m^{-1}$ ,  $K^{-1}$ ).

**2.5.22** При позначенні знака ділення використовують навіскісну риску, позначення одиниць у чисельнику й знаменнику розташовується вздовж рядка; добуток позначень одиниць знаменника береться у дужки.

Правильно:

Неправильно:

$m/s$ ;  $m/c$ ;  $m/s$ ;  $m/c$ ;  $W/(m \cdot K)$ ;

$Вт/(м \cdot К)$ .  $W/m \cdot K$ ;  $Вт/м \cdot К$ .

**2.5.23** Позначення одиниць друкується прямим шрифтом.

**2.5.24** Позначення десяткових префіксів друкується прямим шрифтом, без проміжку між префіксом та позначенням одиниці.



## РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

### 3.1 Основні поняття та принципи метрологічного забезпечення

**Метрологічна діяльність** (згідно закону України про метрологію та метрологічну діяльність) – діяльність, пов’язана із забезпеченням єдності вимірювань.

**Єдність вимірювань** – стан вимірювань, в якому їх результати виражені в одиницях вимірювання, що визначаються Законом про метрологію та метрологічну діяльність, а характеристики похибок або невизначеностей вимірювань відомі з певною імовірністю і не перевищують встановлені межі. Тому, метою метрологічної діяльності є такі аспекти вимірювання:

- забезпечення єдності вимірювання;
- досягнення необхідної точності вимірювань (характеристики помилок чи невизначеності вимірювань, які є відомими з певною ймовірністю і не перевищують встановлені межі).

Робота метрологічних служб (рис. 1) присвячена практичному вирішенню цих задач, а їх діяльність спрямована на метрологічне забезпечення вимірювання.

**Метрологічне забезпечення** – встановлення та використання метрологічних стандартів та правил, а також розробка, виготовлення та використання технічних засобів, потрібних для досягнення єдності та необхідної точності вимірювань [ДСТУ 2681 -94 ].

**Метрологічна служба** – мережа організацій, організація чи окремий підрозділ, який відповідає за забезпечення єдності вимірювань у визначеній сфері діяльності [ДСТУ 2681-94].



Рис.3.1. Зв'язок організацій з метрологічною службою для забезпечення єдності вимірювань

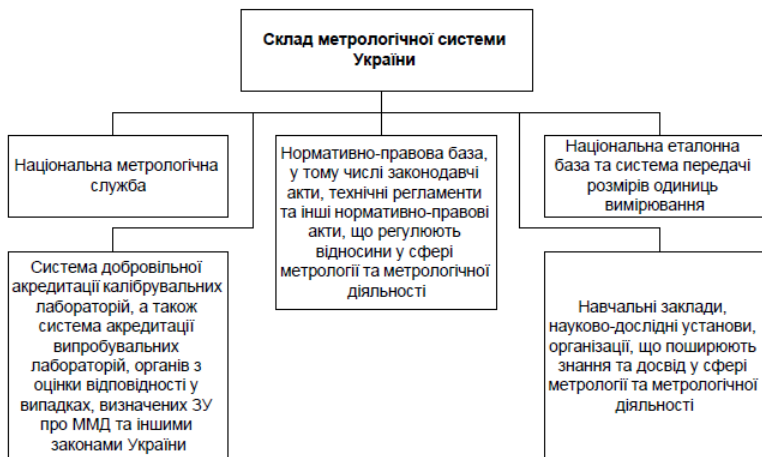


Рис. 3.2. Склад метрологічної системи України

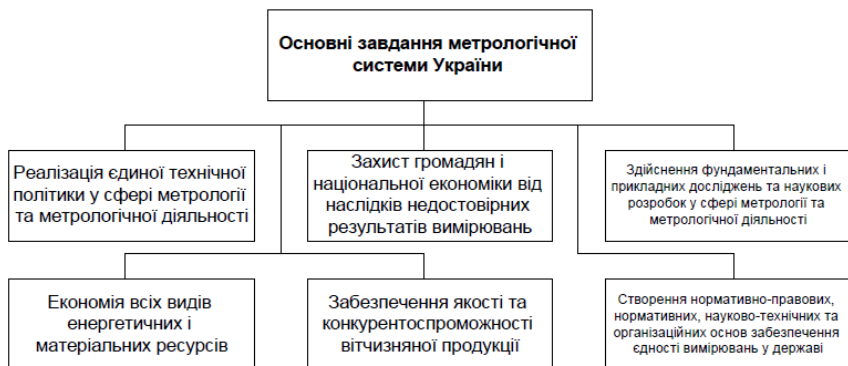


Рис. 3.3. Основні завдання метрологічної системи України

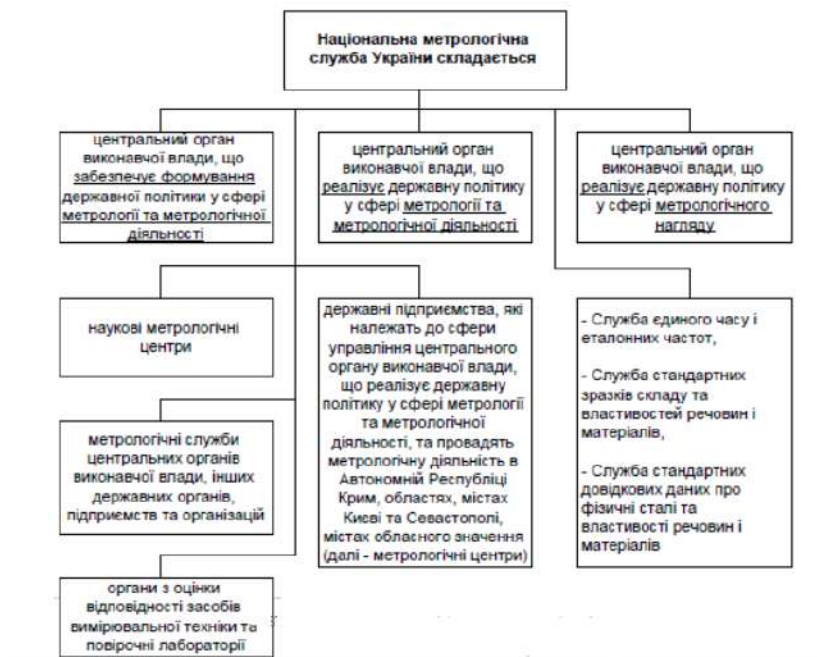


Рис. 3.4. Структура національної метрологічної служби України

Державне управління забезпечення єдності вимірювань України виконує функції центрального органу виконавчої влади, який забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності, виконуються. До таких функцій належить:

- забезпечення нормативно-правового регулювання у сфері метрології та метрологічної діяльності;
- організація фундаментальних досліджень у метрологічній галузі;
- забезпечення роботи та розвитку національної бази еталонів;
- розробка або участь у розробці державних наукових та науково-технічних програм, пов'язаних із забезпеченням єдності вимірювань;
- представлення та участь України в діяльності міжнародних, європейських та інших регіональних метрологічних організацій;
- здійснення повноважень, визначених законом та покладених на нього актами Кабінету Міністрів України.

Центральний органу виконавчої влади, який реалізовує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності виконує наступні функції:

- координація діяльності для забезпечення функціонування метрологічної системи в Україні;

- організація роботи та підготовка пропозицій щодо вдосконалення національної бази еталонів;
- дозвіл на перевірку діючих законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки;
- здійснення повноважень, визначених законом та покладених на нього актами Кабінету Міністрів України.

Сьогодні Міністерство економічного розвитку і торгівлі України є центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності. Діяльність міністерства здійснюється згідно Положення "Про Міністерство економічного розвитку і торгівлі України", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 20 серпня 2014 р. №459. Діяльність Міністерства економічного розвитку і торгівлі України спрямовується та координується Кабінетом Міністрів України.

Центри наукової метрології визначаються Кабінетом Міністрів України серед державних підприємств, установ, організацій, сфери управління центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, і зберігають,

застосовують та вдосконалюють національні стандарти.

Задачі таких центрів є наступними:

- проводити фундаментальні дослідження в галузі метрології, а також вести роботу, пов'язану з розробкою та реалізацією державних програм у галузі метрології та концепцією розвитку метрологічної системи держави;
- проводити наукові та прикладні дослідження та проводити науково-дослідницьку роботу, пов'язану зі створенням, удосконаленням, зберіганням, застосуванням, перевіркою, національних еталонів, створенням систем та механізмів передачі розмірів одиниць вимірювання;
- брати участь у підготовці проектів технічних регламентів, нормативно-правових актів у галузі метрології та метрологічної діяльності;
- здійснювати координаційне та науково-методичне забезпечення роботи щодо забезпечення єдності заходів вимірювання у відповідних сферах діяльності;
- оцінювати відповідність засобів вимірювальної техніки;
- проводити повірку та повірку засобів вимірювальної техніки;

- проводити вимірювання у галузі законодавчо регульованої метрології;
- вести інформаційний фонд за напрямками діяльності;
- здійснювати міжнародне співробітництво у справах, що належать до його компетенції.

Відповідно до частини першої статті 12 Закону України від 5 червня 2014 року №1314-VII "Про метрологію та метрологічну діяльність" Кабінет Міністрів України прийняв рішення про визначення таких наукових метрологічних центрів:

- Національний науковий центр «Інститут метрології», місто Харків;
- Державне підприємство "Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту споживачів", місто Київ;
- Державне підприємство "Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних та керуючих систем", місто Львів;
- Державне підприємство "Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації", місто Івано-Франківськ.

Наукові метрологічні центри можуть виконувати інші роботи (надавати інші послуги), пов'язані із забезпеченням одиниці вимірювання за контрактами з юридичними та фізичними особами. До них належать:

Служба єдиного часу та еталонних частот проводить міжгалузеву координацію та виконання робіт, для забезпечення єдності вимірювань часу та частоти, визначення параметрів обертання Землі та надання частотно-часової інформації споживачам у галузі економіки, науки, оборони, фізичним та юридичним особам, включаючи надання інформації для забезпечення застосування єдиного звітно-облікового часу.

- Служба стандартних зразків складу та властивостей речовин та матеріалів проводить міжгалузеву координацію та виконання робіт, із розробки та впровадженням типових зразків складу та властивостей речовин та матеріалів.

- Стандартна служба довідкових даних фізичних сталей, властивостей речовин та матеріалів забезпечує міжгалузеву координацію та здійснює виконання робіт, із розробки та впровадженням стандартних довідкових даних фізичних сталей, властивостей речовин та матеріалів.

Центральні органи виконавчої влади містять:

- центральний орган виконавчої влади, для забезпечення формування державної політики у сфері метрології і метрологічної діяльності,
- центральний орган виконавчої влади, для реалізації державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності,
- центральний виконавчий орган, що реалізує державну політику у сфері метрологічного нагляду,
- метрологічні служби для робіт (послуг), пов'язаних із забезпеченням єдності вимірювань у певних галузях діяльності в інших державних органах, в органах управління господарських товариств, компаній та організацій

Метрологічні служби або особи, відповідальні за забезпечення єдності вимірювань, повинні створюватися у компаніях та організаціях, які виконують роботи у сфері законодавчо регульованої метрології.

Структура, функції, права та відповідальність метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, інших державних органів, органів управління господарських товариств, компаній та організацій, які здійснюють роботи у сфері законодавчо регульованої

метрології, визначаються положеннями про зазначені послуги.

Типове положення про метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, інших державних органів, органів управління господарських товариств, компаній та організацій, які здійснюють роботи у сфері законодавчо регульованої метрології, затверджуватиметься центральним органом виконавчої влади.

### **3.2 Формування метрологічних служб**

Метрологічні служби можуть бути сформовані:

- у центральних органах виконавчої влади, інших державних органах, крім центрального органу виконавчої влади, що гарантує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності, центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, та центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику метрологічного нагляду, для виконання робіт (надання послуг), пов'язаних із забезпеченням одиниці вимірювання у певних сферах діяльності;
- орган управління підприємницькими асоціаціями з питань реалізації делегованих компаній, що входять до складу асоціацій, функціонує з метою виконання роботи (надання

послуг) для забезпечення єдності вимірювань у певних сферах діяльності;

- у підприємствах, установах та організаціях проводити роботу (надання послуг), пов'язану із забезпеченням єдності заходів у певних сферах діяльності.

У компаніях, установах та організаціях, які виконують роботи (які надають послуги) у сфері законодавчо регульованої метрології, обов'язково формуються метрологічні служби або призначаються особи, відповідальні за ведення одиниці вимірювання.

Метрологічні служби здійснюють роботу (надають послуги) у сфері законодавчо регульованої метрології, яка включає види діяльності, визначені статтею 3 Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність".

1. Сфера застосування законодавства, регульованої метрології, визначається Законом, де, з метою забезпечення єдності вимірювань та простежуваності здійснюється державне регулювання стосовно вимірювань, одиниць вимірювання та вимірювального обладнання.

До сфери законодавчо регульованої метрології входять такі види діяльності:

- 1) гарантування охорони життя і здоров'я громадян;
- 2) контроль якості та безпеки харчових продуктів та ліків;
- 3) екологічний контроль;
- 4) контроль умов безпеки;
- 5) контроль безпеки дорожнього руху технічного стану транспортних засобів;
- 6) топографо -геодезичні, картографічні та гідрометеорологічні роботи, роботи по територіальному плануванню;
- 7) комерційні та торговельні операції та угоди між покупцем (споживачем) та продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому числі під час надання транспортних, побутових, громадських послуг, телекомунікаційних послуг, поштових послуг, постачання та / або споживання енергії, матеріальні та газові ресурси;
- 8) розрахунок суми податкових виборів, податкового та митного контролю;
- 9) роботи, пов'язані з визначенням параметрів будівель, споруд будівельної території;
- 10) робота з технічного захисту інформації відповідно до законодавства;
- 11) робота з використанням обладнання глобальних навігаційних супутникових систем;

- 12) робота, яка проводиться від імені слідчих органів, прокуратури та судів;
- 13) реєстрація національних та міжнародних спортивних рекордів.

Законодавство країни щодо метрології та метрологічної діяльності регулюється державною системою для забезпечення єдності вимірювань.

### **3.3 Міжнародне метрологічне забезпечення**

**Метрологічна простежуваність** - властивість результату вимірювання, яка характеризує його зв'язок з еталоном через задокументований безперервний ланцюжок калібрувань, кожне з яких сприяє невизначеності вимірювання ЗУ про метрологію та метрологічну діяльність.

Концепція метрологічної простежуваності певною мірою еквівалентна концепції забезпечення єдності вимірювань (ДСТУ2681-94) та передачі одиниці розміру (ДСТУ2681-94).

Передача розміру одиниці (простежуваність) - короткий опис одиниці фізичної величини, яка відтворюється або зберігається за допомогою засобів вимірювання (засобу

вимірювання, який перевіряється, за розміром одиниці, відтвореної еталоном).

Міжнародні та європейські рекомендації та стандарти у сфері системи забезпечення якості містять, як суттєвий елемент забезпечення якості, вимоги до калібрування застосованих ЗВТ та зв'язування всіх результатів вимірювань з одиницями фізичних величин, що відтворюють національні стандарти . Це, у свою чергу, сприяє взаємному визнанню результатів вимірювань, зроблених у національних метрологічних інститутах / організаціях (INM / ONM) та акредитованих калібрувальних лабораторіях (CL).

Таким чином, основними учасниками забезпечення відстеження вимірювань є: Національні метрологічні організації / інститути (NMI) та калібрувальні лабораторії (CL).

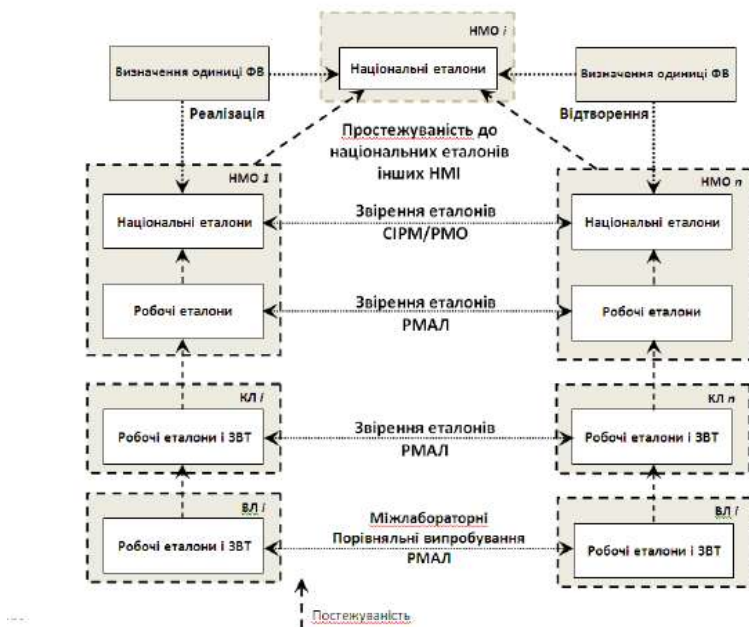


Рис.3.5. Структура простежуваності на різних рівнях:

НМО –національний метрологічний інститут;

КЛ –калібрувальна лабораторія;

ВЛ –випробувальна лабораторія;

СІРМ –Міжнародний комітет мір та ваг;

РМО –регіональна метрологічна організація;

РМАЛ –регіональна мережа акредитованих лабораторій.

На верхньому рівні відстеження забезпечується шляхом виконання ключових та додаткових порівнянь робочих та національних стандартів НМІ (тобто стандартів, які реалізують або відтворюють одиниці фізичних величин відповідно).

ЗВТ, що використовуються в акредитованих калібрувальних лабораторіях, калібруються за робочими стандартами НМІ, а ЗВТ, які використовуються у випробувальних лабораторіях, використовуються з використанням акредитованих робочих стандартів КЛ. Цим процесом керують регіональні мережі.

Передача одиниці розміру фізичної величини від організацій, які мають найвищий рівень точності опорних носіїв (від однієї НМІ до іншої, від НМІ-КЛ, від КЛ-ВЛ) забезпечує вертикальну відстеження результатів вимірювання та виконується з використанням встановленої процедури калібрування та процедури калібрування.

У той же час, для підтримки еталонної бази НМІ, яка відтворює розмір одиниці на найвищому рівні, впроваджуються порівняння (ключові) зі стандартами інших НМІ, які мають однаковий рівень точності. На рівні КЛ також використовуються міжлабораторні порівняння робочих стандартів такого ж рівня точності, а на рівні ВЛ - міжлабораторні порівняльні тести. Цей тип простежуваності називається горизонтальною простежуваністю результатів вимірювань.

## Список цитованої літератури

1. Кірш М. Л. Вступ до метрології: Навчальний посібник. – Чернівці: Рута, 2002. – 83 с.
2. Кірш М. Л. Метрологічна обробка результатів вимірювань: Навчальний посібник. – Чернівці: Рута, 2000. – 104 с.
3. ГОСТ 16263–70 “ГСИ. Метрология. Термины и определения”. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 52 с.
4. ДСТУ 2681 – 94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1994. – 68 с.
5. ДСТУ 3651.0 – 97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. Київ: Держстандарт України, 1998. – 15 с.
6. ДСТУ 3651.1 – 97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення. Київ: Держстандарт України, 1998. – 104 с.
7. ДСТУ 3651.2 – 97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа. Основні положення, позначення, назви та значення. Київ: Держстандарт України, 1998. – 22 с.
8. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 420 с.
9. Рего К.Г. Метрологическая обработка результатов технических измерений: Справочное пособие. – Киев.: Техніка, 1987. – 128 с.
10. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений: Метрологическая справочная книга. – Л.: Лениздат, 1987. – 295 с.