

ЗМІСТ

1. Основні характеристики вимірювання
 - 1.1. Термінологія вимірювання
 - 1.2. Види і методи вимірювання
 - 1.3. Системи одиниць вимірювання
2. Класифікація і характеристика вимірювальних приладів
 - 2.1. Основна класифікація вимірювальних приладів
 - 2.2. Характеристика елементів і властивостей вимірювальних приладів
 - 2.3. Практичні аспекти при виконанні вимірювальних робіт
3. Похибки вимірювання
 - 3.1 Характеристика похибок
 - 3.2 Класифікація похибок
 - 3.3 Інструментальна похибка
 - 3.4 Класи точності приладів вимірювання

1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАННЯ

1.1 Термінологія вимірювання

У процесі виконання вимірювання, його аналізу, необхідно знати, розуміти і застосовувати прийнятну термінологію, яка використовується в області знань теорії вимірювання, що є показником високої кваліфікації інженера, який виконує вимірювальні роботи. До основної термінології в теорії вимірювання відносяться наступні визначення і їхня характеристика:

Вимірювання – визначення значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Міра (еталон) – засіб вимірювання, що забезпечує зберігання і відтворення одиниці вимірювання.

Первинний еталон – державний еталон.

Вторинний еталон – еталон, значення якого встановлюється по первинному для метрологічних служб.

Робочий еталон – еталон, який використовується у вимірюваннях.

Засоби вимірювання – технічні засоби, які використовуються при вимірюваннях і атестовані державною метрологічною службою.

Вимірювальний прилад – технічний засіб, як правило, що не є мірою, служить для порівняння відомої і величини, яка визначається.

Точність – величина, зворотна відносній похибці.

Однократне вимірювання дає єдиний результат, що приймають за остаточний результат вимірювання шуканої величини. Однократне вимірювання являється достатнім у двох випадках. По-перше, при використанні малочутливого вимірювального приладу, коли всі вимірювання приводять до однакових результатів. По-друге, при вимірюваннях фізичної величини, що змінюється.

Багаторазові вимірювання проводять шляхом повторення однократних вимірювань однієї і тієї ж постійної фізичної величини, це приводить до одержання набору даних. Остаточний результат багаторазового вимірювання, як правило, знаходять із набору даних у вигляді середнього

арифметичного результату всіх окремих вимірювань. Вимірювання, проведені в науці і техніці, звичайно прагнуть виконати як багаторазові, щоб забезпечити підвищення точності результатів вимірювання шуканих величин.

Фізичні величини, які вимірюються, відносять до наступних основних типів:

Випадкова величина - така фізична величина, яка пов'язана з випадковими процесами, тому результат окремого вимірювання не може бути однозначно передбачений заздалегідь. Разом з тим, проведення досить великої кількості вимірювань випадкової величини дозволяє встановити, що результати вимірювання відповідають певним статистичним закономірностям.

Постійна величина - фізичні постійні, наприклад, швидкість світла у вакуумі, заряд електрона, постійна Больцмана і т.п. Можна вважати постійними величинами також деякі фізичні характеристики конкретного об'єкта, що перебуває при фіксованих умовах. Постійна величина найчастіше проявляє себе як випадкова величина, а результати її вимірювання розкривають випадкову природу впливів і відповідають певним статистичним закономірностям

Змінна величина - така величина закономірно міняється із часом внаслідок процесів, що проходять у досліджуваному об'єкті. Вимірювання, проведені в різні моменти часу, фіксують величину в нових умовах. Набір результатів однократних вимірювань являє собою результати принципово неповторних вимірювань, тому що час не можна повернути назад, а вимірювання у цілому не може розцінюватися як багаторазове.

Нестабільна величина - вона безсистемна, тобто під час відсутності яких би те не було статистичних закономірностей, міняється, «пливе» або «дрейфує», із часом. До основної характеристики нестабільної величини варто віднести відсутність у експериментаторів інформації про її залежності від часу. Вимірювання такої величини дають набір даних, що не несуть скільки-небудь корисних відомостей.

Особливість процесу вимірювання, яку необхідно враховувати при обробці результатів,

пов'язана із впливом точності застосовуваних вимірювальних приладів на визначення типу досліджуваної фізичної величини. Випадковий характер величини може взагалі не виявитися, якщо використані малочутливі прилади.

1.2 Види і методи вимірювання

Вимірювання фізичних величин діляться на: *промислові (технічні) і лабораторні*.

Промислові вимірювання мають порівняно невисоку точність, достатню для практичних цілей, і виконуються приладами, пристрій яких відповідає їхньому призначенню і умовам роботи.

Лабораторні вимірювання відрізняються високою точністю завдяки застосуванню більше удосконалених методів і приладів і обліку можливих похибок. Цей вид вимірювання проводиться при виконанні науково-дослідних, налагоджувальних і перевірочних робіт.

Для визначення значень вимірюваної величини служать *прямі і непрямі вимірювання*.

Прямі вимірювання, полягають у безпосередньому порівнянні вимірюваної величини з одиницею вимірювання за допомогою міри або вимірювального приладу зі шкалою, вираженою в цих одиницях. Так, наприклад, до прямих відносяться вимірювання довжини - метром, тиску - манометром, температури - термометром і т.д. Завдяки наочності і простоті прямі вимірювання одержали в техніці велике розповсюдження.

Непрямі вимірювання передбачають визначення шуканої величини не безпосередньо, а шляхом прямого вимірювання однієї або декількох інших величин: A, B, C, \dots , з якими вона зв'язана функціональною залежністю. При цьому обчислення вимірюваної величини виконується по формулі: $Q=f(A, B, C, \dots)$...

Методом вимірювання називається сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювання. Існує ряд методів вимірювання, з яких найпоширенішими є: *метод безпосередньої оцінки, метод порівняння з мірою і нульовий метод.*

Метод безпосередньої оцінки передбачає визначення шуканої величини по відліковому пристрою вимірювального приладу, наприклад по положенню вказівної стрілки манометра щодо його шкали.

Метод порівняння з мірою полягає в тому, що вимірювана величина порівнюється зі значенням, відтвореним мірою для даної величини, наприклад: при вимірюванні довжини каліброваним метром.

Нульовий метод є різновидом методу порівняння з мірою; тут результуючий вплив двох величин (вимірювальною і відтвореною мірою) спрямованих назустріч один одному, доводить до нуля. Прикладом може служити вимірювання маси речовини на важільних вагах зі зрівноважуванням її каліброваними вантажами.

1.3 Системи одиниць вимірювання

Побудова систем одиниць вимірювання фізичних величин, що включають основні і похідні від них одиниці, обумовлено практичними потребами науки і техніки. Найменування і число основних одиниць вимірювання розкриває зміст і досконалість фізичних теорій, використовуваних на практиці.

Сучасна фізика вивчає рух і взаємодію мас і зарядів у просторі і часі. Отже, для фізичних вимірювань необхідні і достатні чотири основні, тобто незалежні одне від одного, одиниці вимірювання і чотири еталони для зберігання та відтворення цих одиниць - еталони маси, заряду, довжини і часу.

Діюча в теперішній час і обов'язкова до застосування у всіх країнах Міжнародна система одиниць **SI** як основні одиниці вимірювання використовує одиниці довжини - *метр* (м), маси - *кілограм* (кг), часу - *секунда*

(с) і сили струму - *амперів* (А). До основних одиниць у системі віднесена також *кандела* (кд) - одиниця сили світла, *моль* (моль) - одиниця кількості речовини і *кельвін* (К) - одиниця температури речовини, що мають специфічне призначення.

Інші одиниці вимірювання є похідними від основних, наприклад: частота - герц (Гц, s^{-1}); сила - ньютон (Н, $кг \cdot м / с^2$); тиск - паскаль (Па, $Н / м^2$, $кг / м \cdot с^2$); енергія, робота, кількість теплоти - джоуль (Дж, $Н \cdot м$, $м^2 \cdot кг / с^2$); потужність, потік енергії - ватт (Вт, $Дж / с$, $м^2 \cdot кг / с^3$).

2 КЛАСИФІКАЦІЯ І ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

2.1 Основна класифікація вимірювальних приладів

Залежно від призначення прилади для вимірювання розділяються на ряд груп. Основна класифікація передбачає розподіл приладів по роду вимірюваних величин. Умовно прийняті наступні найменування найпоширеніших приладів, призначених для вимірювання:

температури — термометри і пірометри;

тиску — манометри, вакуумметри, мановакуумметри, тягоміри, напороміри і барометри;

витрати і кількості речовини — витратоміри, лічильники і ваги;

рівня рідини і сипучих тіл — рівнеміри і показчики рівня;

складу газових сумішей і їхньої вологості — газоаналізатори і психрометри;

густини — денсиметри;

в'язкості — віскозиметри;

теплоти згорання — калориметри;

якості води і пари — кондуктометри і вимірювачі кисню.

Додаткова класифікація підрозділяє зазначені прилади на наступні групи:

по призначенню - промислові (технічні), лабораторні, зразкові і еталонні;

за характером показань — що показують, що реєструють (самописні і друкуючі) і інтегруючі;

за формою представлення показань — аналогові і цифрові;

за принципом дії — механічні, електричні, рідинні, хімічні, радіоізотопні та ін.;

за характером використання — оперативні, облікові і розрахункові;

за місцем розташування — місцеві і з дистанційною передачею показань;

за умовами роботи — стаціонарні (щитові) і переносні.

Промислові прилади є найпоширенішими засобами вимірювання, застосовуваними для практичних цілей, і мають порівняно просту і міцну конструкцію і високу надійність дії. Точність цих приладів, призначених для роботи в несприятливих умовах (при наявності пилу, вологи, вібрації і т.п.), порівняно невисока. Показання промислових приладів добре видно на відстані.

Лабораторні прилади служать звичайно для точних вимірювань. Ними користуються, як правило, при дослідницьких і налагоджувальних роботах. Для одержання великої точності вимірювання лабораторні прилади мають ретельне виконання, удосконалені схеми і спеціальні пристосування для відліку показань. При користуванні цими приладами до їхніх показань вводяться виправлення, обумовлені досвідченим або розрахунковим шляхом.

Еталонні і зразкові прилади призначені головним чином для перевірки засобів вимірювання. Еталонами називаються міри і прилади, призначені для зберігання одиниць вимірювання і відтворення їх з найвищою точністю. Еталони бувають первинними і вторинними. Найбільш точними є первинні еталони, які є державними еталонами одиниць вимірювання. Значення вторинних еталонів устанавлюються по первинним. До вторинних відносяться також робочі еталони, призначені для передачі розмірів одиниць зразковим мірам і приладам. Зразкові прилади використовуються для передачі шляхом перевірки і градирування правильних значень одиниць вимірювання від еталонів до інших приладів. Зразкові прилади бувають чотирьох розрядів залежно від їхньої точності і способів перевірки. Прилади 1-го розряду повіряються тільки по робочих еталонах, 2-го розряду - по приладах 1-го розряду і т.д.

Прилади що показують, дають миттєве значення вимірюваної величини, відлічуваної по шкалі, а **прилади що реєструють** - записують зміну цього значення в часі на діаграмному папері (самописні прилади) або друкують ці показання в цифровій формі (друкуючі прилади).

Самописні прилади виконуються для запису однієї (одноточечні або одноканальні прилади) або декількох (багатоточечні або багатоканальні прилади) вимірювальних величин.

Інтегруючі прилади (лічильники або інтегратори) дозволяють визначати сумарне значення вимірювальної величини за будь-який проміжок часу. Для цього показання приладу відраховують на початку і кінці виміру, і сумарне значення вимірюваної величини визначається як різниця між кінцевим і початковим відрахуванням.

Аналогові прилади дають показання у вигляді безперервної функції вимірюваної величини. До них ставляться, наприклад стрілочні що показують, і більшість самописних приладів.

Цифрові прилади мають показання у вигляді окремих дискретних сигналів вимірювальної інформації в цифровій формі. У число цих приладів входять показуючі із цифровим відліком, друкуючі, і більшість самописних.

Оперативні прилади є промисловими засобами вимірювання. За показниками їх проводиться керування роботою виробничих установок. Ці прилади мають велике значення для забезпечення корисної експлуатації технологічного встаткування, виконуються показуючими і самописними.

Облікові і розрахункові прилади, служать відповідно для технічного обліку роботи установок і взаємних розрахунків, бувають самописними і інтегруючими.

Місцеві прилади встановлюються безпосередньо в місцях вимірювання. У більшості випадків вони призначаються для менш відповідальних спостережень, а також для періодичних вимірювань при пуску і зупинці агрегатів.

Прилади з дистанційною передачею показань на щити керування є основним видом промислових приладів, що забезпечують централізацію контролю за роботою установок. Промислові вимірювальні прилади звичайно є стаціонарними, тобто призначеними для установки (монтажу) на щитах, стінах, колонах, кронштейнах та ін. Більшість інших приладів (лабораторні,

зразкові і ін.) виконуються переносними, установлюваними при вимірюваннях на столах, стендах і т.п.

2.2 Характеристика елементів і властивостей вимірювальних приладів

Кожний вимірювальний прилад складається з ряду частин і вузлів і має задані метрологічні властивості. Головними вузлами вимірювального приладу є *вимірювальний* і *відліковий пристрої*. Перший з них безпосередньо здійснює вимірювання фізичної величини за допомогою чутливого елемента і при необхідності підсилює вхідний сигнал, а другий - показує, записує або інтегрує отримане значення.

Вимірювальний пристрій приладів досить різний і залежить від роду вимірювальної величини (тиск, температура і т.д.) і принципу дії приладу (механічний, електричний та ін.). У більшості випадків вимірювальний пристрій складається з рухливої і нерухомої частин. Переміщення рухливої частини відбувається під впливом вимірювальної величини на чутливий елемент приладу.

Відліковий пристрій залежно від характеру показань приладів виконується у вигляді: шкали і покажчика (прилади, які показують), записуючого пристрою і діаграмного паперу (самописні прилади) і рахункового пристрою (інтегруючі прилади).

Шкала приладу, який показує, складається з ряду послідовно нанесених на плоскому або профільному (циліндричному) циферблаті поділок, що відповідають числовим значенням вимірюваної величини.

Оцінки і числа на циферблаті називаються *градированням шкали*. Різниця значень, що відповідають двом сусіднім поділкам шкали, виражена в одиницях виміру, називається *ціною поділки шкали*.

Показання приладу, що характеризує значення вимірювальної величини, визначається згідно як число відлічених поділок, помножених на

ціну поділки шкали. У деяких випадках показання знаходиться множенням відліку на постійну приладу, що виражається в одиницях виміру, а також по даним градуїрованої характеристики приладу, що представляє залежність (синусоїди і т.п.). Точність відліку показань по рівномірній шкалі вище, ніж по нерівномірній.

Якщо шкала приладу починається з нуля, то вона називається *однобічною*, якщо поділки розташовані по обох сторонах від нуля — *двосторонньою*. Іноді вимірювальні прилади виконуються з безнульовою шкалою, що починається не з нуля, а з деякого значення. Вимірювання по приладу з безнульовою шкалою точніше, ніж з однобічною або двосторонньою шкалою, тому що вона має меншу ціну поділки. У деяких вимірювальних приладів циферблат зі шкалою робиться обертовим.

Початкове і кінцеве значення шкали визначають собою діапазон показань (межі шкали) приладу, а область вимірювання, що допускається по шкалі за умовами точності представляє діапазон вимірювання приладу. В окремому випадку діапазони показання і вимірювання можуть бути рівні між собою.

Шкала вимірювальних приладів буває *прямолінійна, дугова і кругова* (рис.2.1). Дугова шкала має центральний кут менше, а кругова — більше 180° . Крім того, шкала може бути *рівномірною і нерівномірною* (рис.2.2). Рівномірна шкала має однакові відстані між поділками і тому більше зручна для вимірювання, чим нерівномірна, у якій ці відстані звичайно змінюються за певним законом (параболі).

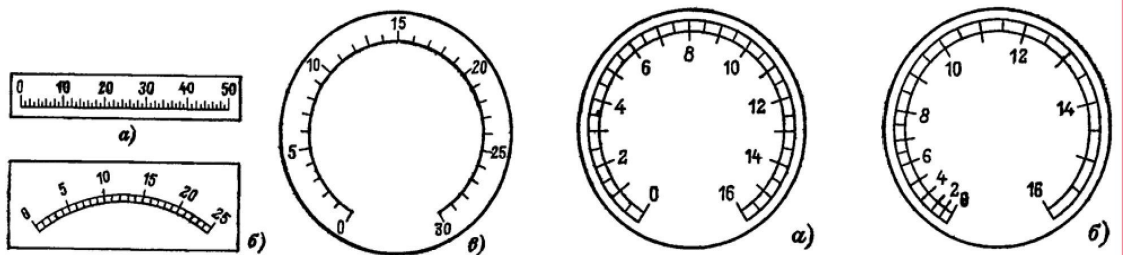


Рисунок 2.1 - Шкали вимірювальних приладів: Рисунок 2.2 - Кругові шкали приладів: *a* – прямолінійна; *б* – дугова; *в* – кругова. *a* – рівномірна; *б* – нерівномірна

Показчиком у промислових приладах служить добре помітна на відстані клинова або клинова стрижнева стрілка, тоді як більш точні прилади забезпечуються ножовою стрілкою, кінець якої має вигляд леза, розташованого за нормаллю до площини шкали.

У рідинних скляних приладів показчиком служить видимий рівень (меніск) рідини у вимірювальній трубці. Якщо рідиною є вода або спирт, то із-за гарної змачуємості стінок утвориться ввігнутий меніск і відлік показань проводиться по нижній його границі, а у випадку застосування ртуті - опуклий меніск дозволяє робити відлік по верхній його границі.

Діаграмний диск діаметром 250-300 мм має полярну координатну сітку у вигляді концентричних окружностей, що відповідають значенням вимірюваної величини, і радіальних дуг, що відповідають значенням часу. Частота обертання діаграмного диска - 1 або 2 об/добу.

Вимірювальний прилад може бути конструктивно виконаний як одне ціле (у загальному корпусі) або складатися з декількох частин (в окремих корпусах), що самостійно беруть участь у процесі вимірювання і представляють собою вимірювальний комплект.

Прилад, що має один корпус, найчастіше є місцевим, а який складається з декількох корпусів - дистанційним. В обох випадках прилад зв'язується з місцем вимірювання за допомогою сполучної лінії (проводів або трубок), яка передає йому значення вимірюваної величини.

Більшість вимірювальних приладів з дистанційною передачею показань містять у собі дві самостійні частини: *первинний вимірювальний перетворювач (датчик) і вторинний прилад.*

Первинний перетворювач - є сприймаючою і передавальною частиною комплексу, чутливий елемент розташовується, як правило, у місці вимірювання і піддається безпосередньому впливу вимірювальної величини.

Вторинний прилад, або частина, що вимірює, видає показання вимірювальної величини, перетворюючи за допомогою вимірювального пристрою одержуваний їм сигнал.

Сигнал виходу надходить від первинного перетворювача у відповідне переміщення відлікового пристрою. Вторинний прилад зв'язується з первинним перетворювачем сполучною лінією і встановлюється звичайно на щиті управління агрегату.

2.3 Практичні аспекти при виконанні вимірювальних робіт

При виборі конкретних видів вимірювального приладу користувач повинен брати до уваги три наступні аспекти:

1. **Технічні аспекти** (діапазон вимірювання, похибка, відтворюваність результатів).

Необхідний діапазон буде залежати від знання користувачем очікуваних величин вимірювання. Якщо відсутні переносні для експрес-аналізу вимірювальні прилади, діапазон вимірювання необхідно оцінювати або розраховувати на основі власного досвіду користувача. Максимальне навантаження може бути розраховано, наприклад, на основі максимального навантаження технологічного процесу. Максимальні величини вимірювання попередньо можуть бути встановлені з технічних паспортів обстежуваних систем або механізмів. Ціль полягає в тому, щоб максимально припустима величина по шкалі вимірювального приладу перевищувала максимально можливу величину вимірюваного параметра в досліджуваній системі. Крім того, вимірювальний прилад повинен забезпечити корисний робочий діапазон вимірюваної змінної величини із прийнятною точністю (мінімальною похибкою). При проведенні робіт з енергообстеження енергетичних систем і

механізмів дуже часто доводиться перевіряти ще раз вимірювальні величини у відповідних режимах експлуатації обстежуваних технологічних процесів, з метою уточнення проведених результатів аналізу їхньої роботи. Тому обраний вимірювальний прилад повинен мати максимальну можливість відтворювати величини повторюваних вимірювань.

2. Практичні аспекти (обмеження по установці, вимоги до технічного обслуговування). При виборі вимірювального приладу варто брати до уваги вимоги до його механічної надійності і вимоги до корисного технічного обслуговування, можливості переградирування. У технологічній системі при її роботі можуть виникати часті і різкі коливання вимірювального параметра, тому необхідно вибрати такий прилад, що не вийде з ладу при такому динамічному режимі вимірювання, особливо, якщо прилад відноситься до контактних видів вимірювальних пристроїв.

3. Врахування властивості рідини і газу (коливання тиску і температури, ступінь сухості). Якщо існують умови перегріву, нестабільного тиску в системах або техпроцесах, на яких проводяться вимірювання, то вимірювальний прилад повинен бути додатково оснащений компенсаторами тиску, контрольного датчика температури і вологості, або мати можливість коректувати показання із введенням поправочних коефіцієнтів.