### ЛЕКЦІЯ 1

### ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Метрологія відрізняється від інших природничих наук тим, що її фундаментальні положення приймаються за угодами, а не диктуються об’єктивними закономірностями. Це підкреслює наявність так званої законодавчої метрології - частини метрології, що містить положення, правила, вимоги та норми, які регламентуються і контролюються державою для забезпечення єдності вимірювань.

*Метрологією (від грецьких метрон - міра і логос - учення) називають науку про вимірювання, методи й засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності.*

Метрологія є **теоретичною основою** вимірювальної техніки, одного з основних факторів технічного прогресу у всіх галузях діяльності людини. Розвиток метрології полягає, в першу чергу, в удосконаленні теоретичних основ вимірювань, узагальненні практичного досвіду в галузі вимірювань і формуванні подальшого розвитку вимірювальної техніки.

Методи вимірювання електричних величин застосовуються для вимірювання неелектричних і магнітних величин. Засоби вимірювання електричних величин застосовуються не тільки для отримання вимірювальної інформації, але і для здійснення контролю за станом параметрів різноманітних матеріальних об’єктів.

Для керування процесом вимірювання, оброблення результатів та їх подальшого більш ефективного використання все частіше застосовуються мікропроцесори, мікроконтролери, персональні комп’ютери.

Однією з найважливіших характеристик вимірювань є точність, яка характеризує міру відповідності наукового знання про досліджувані об’єкти теорії, сформульовану з використанням кількісних відношень, що отримані в процесі вимірювального експерименту. Точність на кожному етапі розвитку науки і техніки є кінцевою.

*Єдність вимірювань - це стан вимірювань, за яким їх результати подаються в узаконених одиницях і похибки вимірювань відомі із заданою ймовірністю.*

Прагнучи до пізнання світу та підвищення продуктивності праці, людина в процесі накопичення знання та досвіду розробляє методи пізнання - найбільш ефективні засоби одержання нових знань.

Вимірювальна інформація - одна із складових частин пізнання людиною матеріального світу за допомогою експериментальних методів пізнання. Експериментальна інформація неперервно вдосконалюється в процесі покращення вимірювального експерименту. При цьому відбуваються постійне уточнення вимірювальної інформації, вивільнення її від супутніх похибок і наближення до абсолютної істини. В результаті аналізу отриманої вимірювальної інформації людина пізнає навколишнє середовище.

### Предмет, методи, засоби і основні напрямки метрології

*Предметом метрології є отримання кількісної і якісної інформації про властивості об’єктів і процесів, встановлення і застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності і необхідної точності.*

*Методи метрології - це сукупність фізичних і математичних методів, що використовуються для отримання вимірювальної інформації. До них належать: методи вимірювання, відтворення величин заданого розміру, порівняння величин, вимірювальне перетворення, обробка результатів спостережень, планування вимірювального експерименту.*

Методи метрології дозволяють перевірити істинність інформації метрологічними експериментами. Різноманітність каналів отримання вимірювальної інформації, сукупність методів її обробки сприяють підвищенню точності і достовірності, а отже, і поглибленню пізнання людиною матеріальних об’єктів.

*Засоби метрології - різноманітні засоби вимірювань і контролю, які вдосконалюються і розвиваються на основі об’єктивних законів.*

Збільшення числа структурних елементів, програмно-апаратна реалізація засобів вимірювання і контролю приводять до їх якісної зміни. Вони неперервно вдосконалюються - від найпростіших мір до приладів, установок, комп’ютерно-вимірювальних систем і метрологічних роботів.

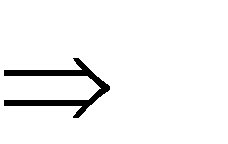
Відбувається перехід кількості структурних елементів в нові якості.

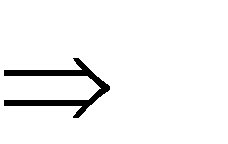
Всі засоби вимірювання і контролю регламентуються державними і міжнародними правилами, законодавчими актами, що мають за мету підтримання єдності вимірювань і підвищення їх достовірності.

Таким чином, засоби метрології включають у себе: сукупність засобів вимірювання і контролю;



систему державних еталонів одиниць фізичних величин;

систему передачі розмірів одиниць фізичних величин від еталонів усім засобам вимірювання за допомогою зразкових засобів повірки;

систему обов’язкової державної і відомчої повірки, або метрологічної атестації засобів вимірювання;

систему стандартних зразків складу і властивостей речовин, матеріалів.

**Напрямки метрології**. Усі розділи метрології розвиваються на основі об’єктивних законів, коли існуючі раніше засоби вимірювання відкидаються і замінюються новими, коли забезпечується єдність об’єкта дослідження і суб’єкта, їх взаємозв’язок і взаємодія приводить до підвищення точності.

Розвиваючись швидкими темпами, метрологія розподіляється на ряд самостійних розділів:

* теорія вимірювань;
* теорія похибок;
* інформаційна теорія вимірювань;
* теорія інформаційно-вимірювальних систем;
* статистичні вимірювання;
* вимірювання електричних величин;
* вимірювання магнітних величин;
* вимірювання неелектричних величин.

Факт існування в сучасній метрології різноманітних напрямків вивчення вимірювань є відображенням процесу диференціації науки про вимірювання як важливого принципу її розвитку.

Тенденція диференціації привела до створення окремих напрямків вимірювань, а також відповідних навчальних і наукових спеціальностей, що, в свою чергу, забезпечило їх прискорений розвиток. Однак поряд з тенденцією диференціації у зв’язку з розвитком наукових досліджень на межі різнорідних явищ, створенням складних систем з використанням фізичних явищ різного роду, ефективністю взаємного проникнення методів вимірювання і вимірювального перетворення з різних галузей науки і техніки посилюється тенденція інтеграції в розвитку метрології і вимірювальної техніки.

Напрямки розвитку метрології визначають її місце серед інших наук. Метрологія веде до єднання різних наук. Вона тісно пов’язана з фундаментальними природничими науками, насамперед з технічною фізикою. Виконуючи завдання метрологічного забезпечення, вона поєднується і з суспільними науками, оскільки проблеми метрології мають

багато спільного з типовими проблемами масового обслуговування.

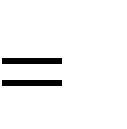
### Основне поняття метрології - фізична величина

Вихідним поняттям метрології є поняття про фізичну величину.

*Фізична величина (ФВ) - це властивість, загальна в якісному відношенні для багатьох матеріальних об’єктів та індивідуальна в кількісному відношенні для кожного з них.*

ФВ - властивість явища чи тіла, яка може бути розрізнена якісно і визначена кількісно. Формалізованим відображенням якісних відмінностей вимірюваних величин є їх розмірність, а кількісною характеристикою - їх розмір. Отримання достовірної кількісної експериментальної інформації про розмір ФВ - це основний зміст вимірювання.

*Значення (фізичної) величини - відображення фізичної величини у вигляді числового значення величини з позначенням її одиниці*

A {A}[A],

де {A} - числове значення ФВ, тобто число, що дорівнює відношенню розміру вимірюваної величини до розміру одиниці цієї ФВ, чи кратної одиниці;

[A] - позначення одиниці ФВ.

Наприклад: значення електричної напруги U = 220 B, значення сили електричного струму I = 10 A.

Існують системи ФВ, тобто сукупності взаємопов’язаних ФВ, в яких декілька величин приймають за незалежні, а інші визначають як залежні від них. ФВ, що входить у систему величин і прийнята за незалежну від інших величин цієї системи, є основною ФВ, а ФВ, що входить у систему величин та визначається через основні величини цієї системи, є похідною фізичної величини.

*Розмірністю ФВ є вираз, що відображає її зв’язок з основними величинами системи величин:*

**основної ФВ** - умовний символ ФВ в даній системі величин;

**похідної ФВ** - добуток розмірностей основних величин, піднесених до відповідних степенів.

*Одиницею ФВ є величина певного розміру, прийнята за угодою для кількісного відображення однорідних з нею величин:*

**основна одиниця** системи одиниць (сукупності одиниць певної системи величин) - основної величини;

**похідна** - похідної ФВ в певній системі величин;

**позасистемна** одиниця ФВ - одиниця величини, що не належить до даної системи одиниць.

Наприклад: електронвольт (eV) - позасистемна одиниця енергії щодо системи SI; доба, година, хвилина - позасистемні одиниці часу щодо системи SI.

У країнах світу загальноприйнята *Міжнародна система одиниць* ФВ (Systeme Internationale d’unites, SI), яка була прийнята XI Генеральною конференцією з мір та ваги (Conference Generale des Poids et Mesures, CGPM, ГКМВ) у жовтні 1960 року, і уточнювалася на XII-XX Генеральних конференціях з мір та ваги.

Система складається з 7 основних і 2 додаткових одиниць, а також

113 похідних одиниць, в тому числі одиниць електричних і магнітних величин - 40.

### Основні одиниці системи SI:

*довжина - метр (м); маса - кілограм (кг); час - секунда (с);*

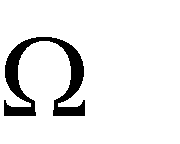
*сила електричного струму - ампер (А); термодинамічна температура - кельвін (К); сила світла - кандела (кд);*

*кількість речовини - моль (моль),*

### додаткові одиниці:

*плоский кут - радіан (рад); тілесний кут - стерадіан (ср).*

Основна одиниця електрики і магнетизму - ампер, який дорівнює силі незмінного струму, який при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках безмежної довжини і мізерно малого кругового перерізу, розташованого на відстані 1 м один від одного у вакуумі, викликав би на кожній дільниці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, що дорівнює 2 10-7 Н.

Вісімнадцять похідних одиниць SI мають спеціальні назви і шістнадцять одиниць, які мають назви за прізвищами учених, в тому числі: ват (Вт, W), вебер (Вб, Wb), вольт (В, V), генрі (Гн, H), герц (Гц, Hz),

кулон (Кл, C), ом (Ом, ), сименс (См, S), тесла (Тл, T), фарад (Ф, F) .

На практиці широко застосовуються **кратні** та **частинні** одиниці фізичної величини.

*Кратна одиниця ФВ - це одиниця величини, яка в ціле число разів більша за одиницю, від якої вона утворюється.*

*Частинна одиниця - одиниця, яка в ціле число разів менша за одиницю, від якої вона утворюється.*

В Україні регламентується застосування одиниць величин системи SI. Міжнародні стандарти Міжнародної організації зі стандартизації (ISO, МОС) ISO 31/0:1992 - ISO 31/13:1992 та ISO 1000:1992 встановлюють

одиниці ФВ, які рекомендовані до застосування у країнах світу, в тому числі ISO 1000:1992 - основні одиниці SI, а ISO 31/5:1992 - похідні одиниці SI електричних та магнітних величин.

### Систематизація фізичних величин

Розгляд фізичних величин в їх різних аспектах, обмежимо лише тими ознаками, які викликають найбільший інтерес з точки зору отримання вимірювальної інформації (рис.1.1).

Основною ознакою систематизації є належність величин до однієї з трьох основних сторін явища - речової, енергетичної та інформаційної.

Фізичні величини

Інформаційні

Енергетичні

Речові

Електричні

Неелектричні

Магнітні

Аналогові

Дискретні

Безрозмірні

Розмірні

Рис. 1.1. Систематизація фізичних величин

Вимірювання величин **речової** групи необхідне для вивчення фізичних і фізико-хімічних властивостей матеріалів, речовин і їх складу для управління технологічними процесами.

Вимірювання величин **енергетичної** групи необхідне для вивчення і управління процесами перетворення, передавання і використання енергії.

Величини **інформаційної** групи відображають динамічні та статичні характеристики процесів. Вимірювання даних величин необхідне для якісного і ефективного управління.

За родом величини всі фізичні величини поділяють на **електричні**, **неелектричні**, **магнітні**.

Відзначимо, що число електричних і магнітних ФВ, що підлягають вимірюванню, зараз стабілізувалось і не перевищує 100. У той самий час число неелектричних ФВ, які вимірюються і які необхідно вимірювати, з кожним роком зростає і на початок XXI ст. перевищило 4000. Це свідчить про випереджаючий розвиток аналітичного приладобудування, засобів технологічного контролю, засобів вимірювань і контролю навколишнього середовища, а також засобів контролю речовин, матеріалів і виробів.

За числом значень, які може набути вимірювана величина на скінченному проміжку часу чи простору, ФВ поділяються на неперервні (аналогові) й дискретні.

*Аналоговою називають фізичну величину, яка на скінченному часовому інтервалі в заданому діапазоні приймає нескінченну кількість значень.*

*Квантованою називають фізичну величину, що поділена на рівні за розміром частини, кванти*.

Найбільш пристосовані до квантування адитивні ФВ.

*Адитивні величини - це величини, які підсумовуються експериментально.*

*Природно квантована ФВ поділена на кванти від природи (електричний заряд, маса).*

*Штучно квантована ФВ поділена штучно на кванти або інтервали, наприклад: довжина лінійки з нанесеними на ній відмітками; інтервал часу, поділений рівновіддаленими імпульсами.*

Розрізняють неперервну за значенням і в часі ФВ, квантовану за значенням і неперервну в часі ФВ, неперервну за значенням і дискретизовану у часі ФВ, квантовану за значенням і дискретизовану у часі ФВ.

За наявністю розмірності розрізняють розмірні (абсолютні) ФВ, безрозмірні (відносні) ФВ.

*Розмірна величина – фізична величина, в розмірнісності якої розмірність хоча б однієї з основних величин піднесена до степеня, що не дорівнює нулю.*

*Безрозмірна величина – фізична величина, в розмірнісності якої всі степені розмірностей основних величин дорівнюють нулю.*

### Основне рівняння вимірювання

Відмінність ФВ, визначена різними властивостями явищ, відображає лише одну їх сторону – якісну. А поняття ФВ містить й іншу сторону – кількісну, що є індивідуальною для кожного об’єкта і оцінюваною числовим виразом величини. Останнє дає можливість порівнювати фізичні величини і виконувати над ними математичні операції.

Вимірювання фізичних величин є одним з найважливіших експериментальних методів пізнання, що ґрунтується на принципі відображення, в якому чітко розрізнюється предмет відображення, в даному випадку ФВ певного розміру, і результат відображення, тобто значення ФВ. Вимірювання починають експериментально, а завершують аналітично їх значеннями, тому методологічно виправдана і відповідна форма рівняння вимірювання.

Основною операцією, що дозволяє отримати результат вимірювання, є операція порівняння вимірюваної величини X, та величини, прийнятої за зразок [x]. Відома **аксіома Евдокса-Архімеда**:

«*Якщо на прямій дані два відрізки A > B, то можна A повторити додатними стільки разів, щоб сума була більшою B*»:

*A + A +…+ A = A (N + 1) > B.*

Якщо A N < B , B >> A, то з цієї аксіоми отримуємо рівняння, що основане на припущенні рівності всіх відрізків A, які підсумовуються всередині відрізка B:

Прийнявши Х = В, а А =[х], отримаємо

.

Останнє співвідношення, подане у вигляді

,

називають **основним рівнянням вимірювання.**

Таким чином, для реалізації вимірювання у найтривіальнішому випадку необхідно виконати дві операції: операцію відтворення зразкової величини [x]; операцію порівняння X i [x].

Кількісна оцінка вимірюваної величини має відповідати двом вимогам:

* внаслідок вимірювання потрібно отримати не просто число, а число іменоване, тобто в певних одиницях, загальноприйнятих для даної величини (наприклад, I = 5 [A]);
* результат вимірювання має містити оцінку точності отриманого значення вимірюваної величини (I = 5 [A]±Δ).

Характерною ознакою вимірювання є також те, що цей процес

обов’язково передбачає той чи інший, простий чи складний фізичний експеримент. Кількісну інформацію про величину не можна отримати тільки одними теоретичними розрахунками. Якщо значення величини отримують розрахунком, то використані в цих випадках розрахункові формули обов’язково повинні містити значення інших величин, що визначаються експериментально.