

Дисципліна: “ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ”

Тема № 3. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАНЬ

Заняття № 1. Фізичні величини. Одиниці фізичних величин. Міжнародна система одиниць.

Заняття № 2. Вихідні положення теорії вимірювань.

Навчальна мета:

- 1. Вивчити поняття про фізичні величини.
- 2. Вивчити одиниці фізичних величин.
- 3. Вивчити міжнародну систему одиниць.

Навчальні питання

1. Вступ..... 10 хв.
2. Основна частина..... 130 хв.
 1. Основні поняття про вимірювання і величини.....20 хв.
 2. Фізичні величини. Одиниці фізичних величин..... 20 хв.
 3. Системи одиниць фізичних величин. Міжнародна система одиниць.....25 хв.
 4. Класифікація вимірювань.....30 хв.
 5. Методи прямих вимірювань.....35 хв.
3. Заклучна частина..... 5 хв.

Одиниці величин почали з'являтися з того часу, коли у людей виникла необхідність виражати будь-що кількісно. Цим «будь-що» могло бути число предметів. В цьому випадку вимірювання було дуже простим, оскільки полягало в підрахунку кількості (числа) предметів, а одиницею був один предмет, або одна штука. Але далі задача ускладнювалася, тому що виникла необхідність визначати кількість таких об'єктів, які не піддавались поштучному підрахунку – рідин, сипучих тіл тощо. З'явилися міри об'єму. Ці міри були одночасно і одиницями об'єму при вимірюваннях. Необхідність вимірювання довжини викликала появу мір довжини.

Першими мірами довжини були частини тіла людини: ступня, лікоть, а також крок тощо. Ці міри були одночасно і одиницями довжини. Маса речовини визначали по її вазі. Різниця між вагою і масою була встановлена тоді, коли визначили, що в різних точках земної кулі вага однієї і тієї ж маси неоднакова і залежить від сили земного тяжіння. Однак звичка ототожнювати масу і вагу, називати масу вагою залишилась і до цих пір і є причиною багатьох непорозумінь і помилок.

Поняття вимірювання і величина належать до числа основних понять науки і техніки. Вимірювання фізичних величин – один із важливих шляхів пізнання природи людиною. Вимірювання поєднують теорію з практичною діяльністю.

Прийнято розрізняти два основні напрямки в теорії вимірювань: математичний і фізичний.

Математична теорія вимірювань виявляє найбільш загальні властивості і закономірності. Її основною задачею є вивчення процесу порівняння величини з мірою. За допомогою цього порівняння одержують числові значення результату вимірювання.

Фізична теорія вимірювань вивчає вимірювання з точки зору практичних (прикладних) задач. Основними з цих задач є: фізична взаємодія вимірювального приладу з об'єктом вимірювання і забезпечення єдності вимірювань.

Основна відмінність між математичною і фізичною теоріями вимірювань полягає в їх відношенні до похибки вимірювань.

Вихідним положенням фізичної теорії вимірювань є визнання неминучості похибки вимірювань. Це підтверджує те положення, що сучасна фізика встановлює факт існування деякої границі визначеності фізичної величини. Це відрізняє поняття "ВЕЛИЧИНА" у фізиці від поняття «ВЕЛИЧИНА» в математиці.

Математична теорія вимірювань виходить із можливості абсолютно точного порівняння двох розмірів величин, тобто існування одного лише рішення q основного рівняння вимірювання

$$Q = q[Q] \quad (1),$$

де: Q – вимірювана величина;

q – числове значення;

$[Q]$ – одиниця фізичної величини.

При цьому вимірювання розглядається як процес, який завершується за нескінченно великий час.

Фізична теорія виходить із положення про обмеженість часу вимірювання, наявності не усуненої похибки вимірювання і неможливості визначення розміру будь-якої величини з абсолютною точністю.

Таким чином, в матеріалі даного питання розглянуті загальні відомості про вимірювання і величини. Результати вимірювань з використанням технічних засобів відображаються в одиницях фізичних величин.

ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ. ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН.

Якісно загальними можуть бути і різні за назвою (різнойменні) фізичні величини, наприклад: довжина, ширина, висота, глибина, відстань, дистанція; або електрорушійна сила, електрична напруга, електричний потенціал; або робота, енергія, кількість теплоти. Про такі фізичні величини говорять, що вони одного роду, або однорідні.

Фізичні величини, які не є однорідними, називають різнорідними, або неоднорідними. Розміри будь-яких однорідних фізичних величин або два розміри однієї й тієї ж фізичної величини можна порівняти між собою. Іншими словами, знайти, в скільки разів один розмір більший (або менший) за інший.

Розмір величини існує об'єктивно, незалежно від того, знаємо ми його чи ні, можемо його виміряти або не можемо.

Метою вимірювання є визначення розміру величини. Результат вимірювання при цьому повинен виражатись числом. Один і той же розмір величини може мати різні числові вирази. Наприклад, потужність двигуна становить 10 к.с. (л.с.), але та ж сама потужність може бути виражена як 7355 Вт.

Таким чином, розмір **A** фізичної величини є добуток деякого числа **q** на (цілого або дробового) на значення **a** одно іменної величини, розмір якої прийнятий за одиницю:

$$A = q a \quad (2)$$

Розміри фізичних величин знаходять частіше за все шляхом порівняння їх з мірою. Знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів називається вимірюванням.

В результаті вимірювання знаходять значення фізичної величини і оцінюють близькість його (цього значення) до істинного значення фізичної величини.

Істинним значенням фізичної величини називається таке значення фізичної величини, яке ідеально відображало б певну властивість об'єкта (ДСТУ 2681-94).

Однак в силу обмеженості часу вимірювань, недосконалості вимірювальних приладів і методів вимірювань, наявності суб'єктивних (особистих) помилок спостерігача одержати в процесі вимірювання істинне значення фізичної величини неможливо.

Як би ретельно не здійснювалось вимірювання, в результаті його можна одержати лише приблизне значення фізичної величини. Тому на практиці замість істинного значення фізичної величини використовують дійсне значення фізичної величини.

ДІЙСНЕ ЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ (умовно істинне значення фізичної величини) ДСТУ 2681-94 – це значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що його можна використати замість істинного для даної мети.

ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Історично склалося так, що паралельний майже незалежний розвиток галузей науки і техніки привів до того, що кількість одиниць фізичних величин значно більша, сама кількість таких величин. Ця множина одиниць фізичних величин існує і в наш час.

Це викликає необхідність переводу значень фізичних величин із одних одиниць в інші, утруднює науково-технічні і економічні зв'язки між різними країнами. Тому однією з основних проблем метрології є робота з упорядкування одиниць фізичних величин і забезпечення співставлення результатів вимірювань. З розвитком метрології було встановлено, що вся різноманітність одиниць фізичних величин може бути зведена в систему сукупність одиниць фізичних величин, створену у відповідності з певними принципами. Декілька одиниць фізичних величин вибирають довільно і незалежно одна від іншої. Такі одиниці називають основними.

Всі інші одиниці фізичних величин одержують за допомогою залежностей (законів і визначень). Ці закони зв'язують різні фізичні величини. Такі одиниці називають похідними.

Тому фізичні величини, одиниці яких прийняті в якості основних, називають основними фізичними величинами, а одиниці яких є похідними, називають похідними фізичними величинами. Сукупність одиниць певної системи фізичних величин (як основних, так і похідних) називають системою одиниць фізичних величин.

Основні і похідні одиниці фізичних величин, які входять в систему одиниць, називають системними одиницями. Одиниці, які не входять в жодну з систем, називають позасистемними одиницями фізичних величин.

На практиці виникає необхідність здійснювати вимірювання в широкому діапазоні значень фізичних величин. Для зручності практичного застосування одиниць введені кратні і часткові одиниці.

КРАТНА ОДИНИЦЯ ФІЗИЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ – це одиниця фізичної величини, яка в ціле число разів більша за одиницю, від якої вона утворюється. Кратна або десятинна одиниця створюється шляхом множення основної або похідної одиниці на множник 10^n , де n - додатне натуральне число.

ЧАСТКОВА ОДИНИЦЯ ФІЗИЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ - це одиниця фізичної величини, яка в ціле число разів менша за одиницю, від якої вона утворюється.

В міжнародній системі одиниць часткова одиниця створюється шляхом множення основної або похідної одиниці на число 10, піднесене до цілого від'ємного степеня.

Множники і приставки для утворення кратних і часткових одиниць та їх найменування

Множник	Приставка	Позначення приставки	
		Українсьь	Міжнародне
		ке	
10^{24}	йота	Й	Y
10^{21}	зета	ЗТ	Z
10^{18}	екса	Е	E
10^{15}	пета	П	P
10^{12}	тера	Т	T
10^9	гіга	Г	G
10^6	мега	М	M
10^3	кіло	к	k
10^2	гекто	г	h
10^1	дека	да	da
10^{-1}	деци	д	d
10^{-2}	санти	с	c
10^{-3}	мілі	м	m
10^{-6}	мікро	мк	μ
10^{-9}	нано	н	n
10^{-12}	піко	п	p
10^{-15}	фемто	ф	f
10^{-18}	атто	а	a
10^{-21}	епто	зп	z
10^{-24}	йокто	й	y

**Приставки взяті з латинської, грецької та датської мов. Слід враховувати, що при створенні кратних і часткових одиниць площі та об'єму за допомогою приставок може виникнути двоякість читання в залежності від того, куди додається приставка: до основної одиниці, або одиниці, взятій в другому або третьому степені. Так, скорочене позначення 1 км² можна тлумачити і як 1 квадратний кілометр і як 1000 квадратних метрів, що, очевидно, не одне і те саме:
1 квадратний кілометр = 1.000.000 квадратних метрів.**

У відповідності з міжнародними правилами (з рекомендаціями ISO) кратні і часткові одиниці площі і об'єму (та інших величин), які одержані шляхом підняття до степеня одиниці довжини, слід створювати, приєднуючи приставки до основних одиниць.

Таким чином, степені відносяться до тих одиниць, які одержані в результаті приєднання приставок, і не відносяться до тих, з яких створені кратні і часткові одиниці.

Тому $1 \text{ км}^2 =$

$$1 (\text{км})^2 = (1 \text{ км})^2 = 10^6 \text{ м}^2, \text{ аналогічно}$$

$$1 \text{ см}^3 = 1 (\text{см})^3 = (10^{-2} \text{ м})^3 = 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (4)$$

3. СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ФІЗИЧНИХ. МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ.

Історично першою системою одиниць фізичних величин була прийнята в 1791 р. Національними зборами Франції метрична система мір. Вона не була системою одиниць в сучасному розумінні, а до її складу входили одиниці довжини, площі, об'єму, ваги, в основу яких були покладені дві одиниці: метр і кілограм.

Найважливіші системи одиниць фізичних величин :

Система СГС(1881 р.) - основні одиниці:сантиметр - одиниця довжини; грам – одиниця маси; секунда - одиниця часу.

Похідні: дин - одиниця сили, ЕРГ – одиниця роботи.

Для електричних і магнітних вимірювань розповсюджені три види системи СГС:

1.Система СГСЕ: сантиметр, грам, секунда і діелектрична проникність (проникність вакууму) - безрозмірна одиниця. Ця система називається також абсолютною електростатичною системою одиниць.

2.Система СГСМ : сантиметр, грам, секунда, магнітна проникність вакууму – безрозмірна величина. Ця система2 називається також абсолютною електромагнітною системою одиниць.

3.Система СГС - система Гауса. В ній електричні одиниці співпадають з електричними одиницями СГСЕ, а магнітні – з магнітними одиницями СГСМ.

Система МКГСС (кінець XIX століття) – три основні одиниці метр - одиниця довжини, кілограм -сила – одиниця сили , секунда - одиниця часу. Ця система набула широкого розповсюдження в механіці і техніці, одержавши неофіційну назву «технічна».

Недоліки системи МКГСС:

- 1.Схожість найменування одиниці сил - *кілограм-сили* і одиниці маси - *кілограм*, що призводить до плутанини.
- 2.Неузгодженість з одиницями електричних і магнітних величин.

Система МТС: одиниця довжини –метр, одиниця маси – тонна, одиниця часу – секунда.

Вперше встановлена (прийнята) у Франції в 1919 р. В 1927-1933 рр. система була прийнята в нашій державі. Однак система МТС не знайшла розповсюдження, в 1955 р. у нас і в 1961 р. у Франції була відмінена.

Абсолютна практична система електричних одиниць була встановлена в 1881 р. 1-м Міжнародним конгресом електриків в якості похідної від системи СГСМ і призначалась для практичних вимірювань.

Перші практичні електричні одиниці:

- одиниця електричного опору - Ом;
- одиниця електрорушійної сили - Вольт;
- одиниця сили електричного струму - Ампер;
- одиниця електричної ємності - Фарада;
- одиниця енергії - Джоуль;
- одиниця потужності - Ватт;
- одиниця індуктивності - Генрі.

Система МКСА. Основи цієї системи були запропоновані в 1901 р. італійським вченим Джорджі. Основними одиницями системи МКСА є: метр, кілограм, секунда і ампер. В системі МКСА сила вимірюється в Ньютонах, робота - в джоулях і ватах.

Система МКСА - це частина Міжнародної системи одиниць (SI).

Міжнародна система одиниць (SI) прийнята у 1960 р. Генеральною конференцією по мірах і вагах. Був затверджений перелік шести основних, двох додаткових і похідних одиниць, а також приставки для створення кратних і часткових одиниць.

Переваги міжнародної системи одиниць:

Універсальність - охоплює всі області науки, техніки і народного господарства.

Уніфікація одиниць для всіх видів вимірювань. Так, замість ряду одиниць тиску (атмосфера, міліметр ртутного стовпа, бар, пьєза, діна на квадратний сантиметр та ін.) в SI застосовується єдина одиниця тиску - ***Паскаль***.

Замість ряду одиниць роботи і енергії (кілограм-сила, метр, ерг, калорія, кілокалорія, кіловат-година, електрон-вольт та ін.) - одна одиниця для вимірювання роботи та всіх видів енергії - *Джоуль*.

Застосування зручних для практики основних і більшості похідних одиниць (площа - квадратний метр, об'єм - кубічний метр, електрична напруга - вольт тощо) Когерентність (узгодженість) системи. Чітке розмежування в SI одиниці маси (кілограм) і сили (Ньютон) та ін.

В 1971 р. XIV Генеральною конференцією по мірах і вагах прийнята сьома основна одиниця SI - одиниця кількості речовини - *моль*.

З 1 січня 1982 р. введений в дію міждержавний стандарт ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин.», у відповідності з яким здійснено перехід на Міжнародну систему одиниць у всіх галузях науки, техніки, народного господарства, а також у навчальному процесі.

Основні одиниці системи SI

Основні одиниці SI з вказівкою скорочених позначень наведені в таблиці.

Величина	Одиниця вимірювань	Скорочене позначення одиниці	
		Українське	Міжнародне
Довжина	метр	м	m
Маса	кілограм	кг	kg
Час	секунда	с	s
Сила електричного струму	ампер кельвін	А К	А К
Термодинамічна температура	моль кандела	моль кд	mol cd
Кількість речовини			
Сила світла			

Визначення основних одиниць, які відповідають рішенням Генеральної конференції по мірах і вагах, наведені в ГОСТ 8.417-81.

Міжнародна система включає в себе і дві додаткові одиниці - для вимірювання плоского і тілесного кутів.

Радіан - одиниця плоского кута (рад).

Стерадіан - одиниця тілесного кута.

Визначення цих величин також можна знайти в ГОСТ 8.417-81.

Додаткові одиниці SI використовуються для створення одиниць кутової швидкості, кутового прискорення і деяких інших величин. Самі по собі радіан і стерадіан застосовуються в основному для теоретичних розрахунків. На практиці їх не застосовують.

Практично плоскі кути частіше за все вимірюють в кутових градусах, хвилинах та секундах. В цих одиницях тарована більшість кутомірних приладів.

Похідні одиниці SI

Похідні одиниці Міжнародної системи одиниць створюються за допомогою простих рівнянь між величинами, в яких числові коефіцієнти. Похідні одиниці SI можна згрупувати за такими основними галузями їх застосування:

Похідні одиниці механічних величин:

- густина
- питомий об'єм
- сила
- вага
- питома вага та ін.

Похідні одиниці електричних і магнітних величин:

- щільність електричного струму
- поляризованість
- електричне зміщення
- електрорушійна сила
- електрична ємність
- електричний опір
- магнітний потік
- магнітна індукція та ін.

Похідні одиниці теплових величин:

- кількість теплоти; - питома теплоємність;
- тепловий потік; - теплопровідність;
- питома кількість теплоти; - теплоємність системи.

Широкого розповсюдження в науці і техніці набули відносні і логарифмічні величини і їх одиниці. Ці величини і одиниці характеризують склад і властивості матеріалів, відношення енергетичних і силових величин та ін.

До таких характеристик відносяться:

- відносне подовження;
- відносна густина;
- відносна діелектрична і магнітна проникність;
- підсилення та послаблення потужностей.

Відносна величина - це безрозмірне відношення фізичної величини до одно іменної фізичної величини, яка приймається за вихідну (исходную - *рос.*).

Відносні величини можуть виражатись або в безрозмірних одиницях (коли відношення двох одно іменних величин дорівнює 1), або у відсотках (коли відношення дорівнює 10^{-2}), або у проміле (відношення дорівнює 10^{-3}), або в мільйонних долях (відношення дорівнює 10^{-6}).

Логарифмічна величина - це логарифм (десятковий, натуральний, або за основою 2 безрозмірного відношення двох одно іменних фізичних величин, У вигляді логарифмічних величин виражаються рівні звукового тиску, підсилення, послаблення, частотний інтервал та ін.

Одиницею логарифмічної величини є *Бел* (Б), який визначається із співвідношення $1 \text{ Б} = \lg P_2 / P_1$, при $P_2 = 10 P_1$, де P_1, P_2 – одно іменні енергетичні величини (потужність, енергія, густина енергії та ін.).

У випадку, коли береться логарифмічна величина для відношення двох одно іменних «силових» величин (напруга, сила струму, тиск, напруженість поля та ін.), Бел (Б) визначається за допомогою формули:

$$1 \text{ Б} = 2 \lg F_2 / F_1 \quad \text{при} \quad F_2 = F_1.$$

Частковою одиницею від бела (Б) є децибел, який дорівнює 0,1 Б. Так, у випадку характеристики підсилення електричних потужностей при відношенні одержаної потужності P_2 до вихідної (исходной - рос.) P_1 , яке дорівнює 10, підсилення буде дорівнювати 1 Б або 10 дБ. При зміні потужності в 1000 разів підсилення буде дорівнювати 3 Б або 30 дБ і т.д.

4. Класифікація вимірювань

У метрології вимірювання визначається як сукупність операцій, виконуваних за допомогою технічного засобу, який зберігає одиницю фізичної величини і дозволяє порівняти вимірювальну величину з її одиницею й одержувати значення цієї величини.

Розрізняють наступні області вимірювання:
геометричних величин, механічних величин, параметрів потоку, витрат, рівня, об'єму речовини, фізико-хімічні, часу і частоти, електричних і магнітних величин на постійному й змінному струмі, акустичних величин, радіоелектронні та ін.

Коротка характеристика деяких видів вимірювання:
пряме вимірювання- при якому вихідне значення величини знаходять дослідним шляхом в результаті виконання вимірювання; *непряме вимірювання* при шукане значення величини знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною й величинами, які знаходяться прямим вимірюванням; розрізняють також *спільні* й *сукупні* вимірювання

5. Методи прямих вимірювань (принципи та методи вимірювання).

Усі без винятку методи вимірювань засновані на фізичних явищах, сукупність яких складає принцип вимірювань.

Сукупність прийомів використання принципу й засобів вимірювань називається методом вимірювання. Усі без винятку методи вимірювань засновані на порівнянні вимірюваної величини з величиною, відтвореною мірою (однозначної або багатозначної). При цьому, в залежності від способу застосування міри відомі величини, виділяють метод безпосередньої оцінки й методи порівняння з мірою. *Метод безпосередньої оцінки* характеризується тим, що значення вимірюваної величини відраховують безпосередньо за відліковим пристроєм вимірювального приладу прямої дії. Приклад-вимір сили струму за допомогою амперметра. *Методи порівняння з мірою* припускають порівняння вимірюваної величини й величини, відтвореної мірою, при кожній процедурі вимірювання. Найбільше наступні методи порівняння: диференціальний, нульвий, заміщення, збігу.

