

ЛЕКЦІЯ 1

Розділ 1. Теоретичні основи вимірювань та вимірювальні засоби

Тема 1.1: Фізичні величини і похибки вимірювань

Лекція 1. Фізичні величини. Одиниці фізичних величин

План

1. Фізичні величини.
2. Основні та похідні фізичні величини.
3. Системи одиниць фізичних величин.

Вступ.

Основною метою дисципліни «Методи експериментальних досліджень у пожежній безпеці» є ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними методами вимірювання фізичних величин та сучасним технічними засобами наукових досліджень.

Під час вивчення дисципліни здобувач вищої освіти набуває загальних уявлень про методи вимірювання, сучасні методики та технічні засоби для їх реалізації і обробки дослідних даних, а також знань про технічні (інструментальні) засоби наукових досліджень у галузі пожежної безпеки.

Вивчення фізичних явищ, вимірювання фізичних величин, а також використання цієї інформації для ототожнювання знань є складовою наукових досліджень.

1. Фізичні величини.

Фізична величина — це якісна властивість об'єкта, що має певний кількісний вміст.

Прикладами фізичних величин є маса, довжина, об'єм, сила електричного струму, електричний опір, ємність та індуктивність елементів електричних кіл, індукція і напруженість магнітного поля, потужність і енергія, частота та період, температура та ін.

Якщо фізична величина змінюється в часі (незалежний аргумент), то говорять про **фізичний процес**. Наприклад, зміна напруги на затискачах обмотки трансформатора є процесом. Зміна температури у часі в печі під час виплавляння металу є також процесом, який визначально впливає на якість отриманого металу.

Якщо фізична величина змінюється лише в просторі (одно-, дво-, чи трикоординатному), то говорять про **стаціонарне фізичне поле**. Наприклад, напруженість магнітного поля в різних місцях Земної кулі можна розглядати як стаціонарне поле, що дуже мало змінюється у часі.

Якщо фізична величина змінюється як у часі, так і в просторі, то говорять про **фізичне поле**, прикладом якого може бути температурне поле, наприклад, у приміщенні під час пожежі, у якому температура в різних місцях в певний момент часу різна і змінюється з часом.

Загалом, оскільки всі об'єкти мають скінченні розміри та існують в часі, теоретично всі їхні властивості треба розглядати як поля. Однак, з метою спрощення як теоретичних моделей, так і експериментальних вимірювальних процедур застосовують ідеалізації властивостей об'єктів. Ступінь ідеалізації залежить від практичних застосувань результатів вимірювань і потрібної точності вимірювань. Наприклад, температуру полум'я при пожежі розглядають лише як процес (при цьому температура змінюється в часі), а зміну температури в різних зонах (температурне поле) зазвичай не враховують. Часто неврахування часової чи просторової змін фізичної величини може спричинити істотне спотворення результатів вимірювань.

Різновиди фізичних величин. Залежно від галузі науки і техніки фізичні величини розрізняють як:

- величини простору (довжина, площа, об'єм тощо);
- величини часу і періодичних явищ (час, інтервал часу, частота, фаза тощо);
- механічні величини (сила, момент сили, тиск тощо);
- теплові величини (температура, теплоємність, кількість теплоти тощо);
- електричні і магнітні величини (напруженість електричного поля, сила струму, електрорушійна сила, потенціал, опір, провідність, магнітна індукція, напруженість магнітного поля, магнітний потік тощо);
- величини акустичних випромінювань (сила звуку, акустичний опір тощо);
- величини електромагнітних випромінювань (потужність випромінювання, довжина електромагнітної хвилі, хвильовий опір);
- величини оптичних випромінювань (потік випромінювання, сила світла, яскравість тощо);
- величини іонізуючого випромінювання і ядерних реакцій (активність випромінювання, доза випромінювання (поглинання) тощо);
- величини атомної і ядерної фізики, а також елементарних частинок (елементарний заряд, енергія взаємодії, момент кількості руху тощо);
- хімічні величини і величини молекулярної фізики (кількість речовини, молярна маса, концентрація, коефіцієнт дифузії тощо).

Важливий клас величин становлять так звані енергетичні величини, які належать практично до всіх перелічених вище величин; всі вони характеризуються розмірністю енергії (механічної, електричної, магнітної, теплової, різних видів енергетичних випромінювань, хімічної, атомної та ядерної").

Рід фізичної величини – це якісна означеність фізичної величини. Розрізняють однорідні та різнорідні фізичні величини. Наприклад, діаметр і висота циліндра – це однорідні величини – величини довжини (простору). Однак маса і об'єм стрижня – це різнорідні величини.

Вимірювані величини. Вимірюваною величиною (англ. - the

measurand) може бути:

- конкретна **фізична величина** конкретного об'єкта (наприклад, е.р.с. акумулятора без навантаження);
- **параметр** (параметри) фізичної величини, процесу, поля (наприклад, амплітуда, частота та фаза гармонійного сигналу, амплітуди та фази гармонічних складових періодичного сигналу, стала часу саморозряду батареї акумулятора - як інтервал часу, протягом якого е.р.с. зміниться на певне значення відносно початкового тощо);
- **залежності** між фізичними величинами чи їхніми параметрами (наприклад, залежність вихідної напруги акумулятора від опору навантаження та температури довкілля).

2. Основні та похідні фізичні величини

Між фізичними величинами існують зв'язки і залежності, що виражаються математичними співвідношеннями і формулами.

У загальному випадку фізичну величину X за допомогою математичних дій, можна висловити через інші величини (a, b, c, \dots), а саме:

$$X = k a^a b^b c^c, \quad (1)$$

де k - коефіцієнт пропорційності.

Значення коефіцієнта k в рівнянні (1) не залежить від вибору одиниць, а визначається виключно характером зв'язку величин, що входять в дане рівняння. Кожен з символів (a, b, c, \dots) в цьому рівнянні - одна з конкретних реалізацій відповідної величини.

Сукупність фізичних величин, пов'язаних між собою залежностями, називають системою величин.

Фізичні величини, які входять в систему і умовно прийняті в якості незалежних від інших величин системи, називають основними.

Фізичні величини, що входять в систему і визначаються через основні

величини цієї системи, називають похідними.

Число основних величин системи може бути будь-яким, проте, для кожної системи цілком визначеним. Так, систему величин механіки доцільно будувати на трьох основних величинах, систему теплових величин - на чотирьох, систему величин молекулярної фізики - на п'яти і т. Д. Система величин, що охоплює всі розділи фізики, може бути побудована на семи основних величинах.

Кожній основній величиною присвоєно символ у вигляді основної прописаний (заголовної) літери латинського або грецького алфавіту:

Довжина	L
Маса	M
Сила	F
Час	T
Сила струму	I
Термодинамічна температура	Q
Кількість речовини	N
Сила світла	J

Символи основних величин даної системи утворюють її позначення. Так, система величин механіки, де основні величини - довжина, маса і час, отримала позначення LMT, а система величин механіки і теплових величин - довжина, маса, час, термодинамічна температура - LMTΘ.

Похідні величини, як було зазначено, можна висловити через основні. Для цього необхідно ввести поняття: розмірність похідної величини і визначає рівняння. Розмірністю фізичної величини називають вираз, що відображає зв'язок цієї величини з основними величинами системи, в якому коефіцієнт пропорційності (k) дорівнює одиниці. Визначальним рівнянням похідною величини називають формулу, за допомогою якої фізична величина

в явному вигляді може бути виражена через інші величини системи.

Наприклад, визначальним рівнянням швидкості є формула:

$$v = \frac{S}{t}. \quad (2)$$

Розмірність швидкості визначимо, підставимо в (2) замість довжини шляху (S) і часу (t) їх розмірність (L і T). Тоді розмірність швидкості

$$\dim v = \frac{L}{T} = L \cdot T^{-1}$$

Послідовність розташування похідних величин при побудові системи повинна відповідати таким вимогам:

- першою повинна бути величина, яка виражається тільки через основні величини;
- кожна наступна повинна бути величиною, яка виражається через основні і такі похідні, які їй передують (табл. 1.1)

Таблиця 1– Розмірності деяких фізичних величин

Фізична величина	Рівняння	Розмірність фізичної величини
Площа	$S = a^2$	L^2
Об'єм	$V = b^3$	L^3
Швидкість	$v = S/t$	LT^{-1}
Момент інерції	$J = mr^2$	L^2M
Густина	$\rho = m/V$	$L^{-3}M$
Питомий об'єм	$U = V/m$	L^3M^{-1}
Прискорення	$a = \Delta v/\Delta t$	LT^{-2}
Імпульс тіла	$p = mv$	LMT^{-1}
Момент імпульсу	$L = mvr$	L^2MT^{-1}
Сила	$F = ma$	LMT^{-2}

Момент сили	$M = Fr$	L^2MT^{-2}
Тиск	$P = F/S$	$L^{-1}MT^{-2}$
Робота, енергія	$A = FS$	L^2MT^{-2}
Потужність	$N = A/t$	L^2MT^{-3}

З табл. 1 випливає, що розмірність будь-якої фізичної величини X в системі LMT в загальному вигляді може бути виражена рівністю

$$\dim X = L^{\alpha} \cdot M^{\beta} \cdot T^{\gamma},$$

де α, β, γ - показники розмірності фізичної величини, цілі числа (виключення складають показники в електростатичного та електромагнітної системах LMT, в яких вони можуть бути дробовими).

Може виявитися, що всі показники розмірності деякої величини дорівнюють нулю. Така величина називається безрозмірною. Наприклад, відносна діелектрична проникність в системі LMT. Однак в електромагнітній системі LMT її розмірність дорівнює $L^{-2}T^2$, а в системі величин LMTI - $L^{-3}M^{-1}T^4I^2$.

Величина називається розмірною, якщо хоча б одна з основних величин зведена в ступінь, що не рівну нулю.

3. Системи одиниць фізичних величин

Вимірювання фізичних величин можливе лише в тому випадку, якщо для кожної з них обрані відповідні одиниці.

Одиниця фізичної величини - це фізична величина, якій за визначенням присвоєно числове значення, рівне 1. Для однієї і тієї ж величини може бути кілька одиниць, що відрізняються один від одного розміром. Наприклад, одиниці довжини - метр (м), дюйм, ангстрем (Å), астрономічна одиниця довжини (а.о.) мають різні розміри:

$$1 \text{ дюйм} = 25,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}, 1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}, 1 \text{ а.е.} = 1,49 \cdot 10^{11} \text{ м}.$$

Числові значення даної фізичної величини обернено пропорційні розмірам частинок, в яких ця величина виражена, тобто числові значення величини обернено пропорційні розмірам одиниць.

Звідси випливає, що співвідношення між одиницями фізичної величини виражених в різних розмірах завжди постійно. Це співвідношення (k_1) - числовий множник, називається коефіцієнтом перерахунку.

Різноманіття одиниць фізичних величин на певній стадії розвитку суспільства стає гальмом у встановленні економічних, торговельних і наукових зв'язків. Тому з ростом числа одиниць фізичних величин виникає тенденція їх уніфікації як всередині окремих держав, так і в міжнародному масштабі. Необхідність в уніфікації одиниць привела встановленню Метричної системи заходів.

Ця система, розроблена французькими вченими (Лагранжем, Лапласом, Монжем і ін.) і введена у Франції, отримала у другій половині XIX століття міжнародне визнання. З великих держав лише в США, Англії та Канаді користуються ще так званої англійської системою заходів заснованої на одиницях: фут, фунт і секунда, але і там вже прийняті законодавчі акти про перехід на Метричну систему заходів.

У Метричну систему заходів входять одиниці дуже обмеженого числа величин - довжини, маси, площі, обсягу і місткості. З розвитком науки і техніки, з розширенням кола величин, що підлягають вимірюванню, виникла необхідність в системах одиниць, що охоплюють одиниці всіх величин одного або декількох розділів фізики.

Системою одиниць фізичних величин називають сукупність основних і похідних одиниць відноситься до деякої системи величин і освічену відповідно до прийнятих принципів.

Основна одиниця фізичної величини є одиниця основний фізичної величини, обрана довільно при побудові системи одиниць. Оскільки основні

величини можуть вибиратися довільно, то для однієї і тій же системи величин може бути утворено кілька систем одиниць. Так, наприклад, на основі системи LMT утворено чотири системи одиниць: МКС (основні одиниці: метр, кілограм, секунда), СГС (сантиметр, грам, секунда), МТС (метр, тонна, секунда), Британська система (фут, фунт, секунда).

Похідною одиницею фізичної величини називають одиницю похідної фізичної величини, що отримується по визначенню цю одиницю рівняння з інших одиниць даної системи одиниць. Похідна одиниця називається когерентною, якщо вона пов'язана з іншими одиницями системи рівнянням, в якому числовий коефіцієнт прийнятий рівним 1. Таке рівняння називається визначальним рівнянням когерентної похідної одиниці. Воно збігається з визначальним рівнянням відповідної похідної величини (1) при $k = 1$, тобто

$$[X] = [A]^a [B]^b [C]^c.$$

Отже, для отримання когерентних похідних одиниць можна користуватися визначальними рівняннями похідних величин.

Похідні одиниці можна отримати не тільки за допомогою визначальних рівнянь, а й з використанням розмірності фізичної величини.

Система одиниць, в якій всі похідні одиниці когерентні, називається когерентною системою одиниць фізичних величин. З розглянутого випливає, що системи одиниць механічних величин (МКС, СГС, МТС, Британська) є когерентними.

За основні одиниці в Міжнародній системі одиниць (SI - «System International» - міжнародна система) були прийняті: одиниця довжини - метр (м), одиниця маси - кілограм (кг), одиниця сили струму - ампер (А), одиниця термодинамічної температури - градус Кельвіна (К), одиниця кількості речовини - моль, одиниця сили світла - кандела (кд),

одиниця часу секунда (с), а додаткові: одиниця плоского кута радіан (рад), одиниця тілесного кута - стерадіан (ср).

Похідні одиниці Міжнародної системи утворюються з основних і додаткових одиниць за допомогою визначальних рівнянь відповідно до принципів побудови систем одиниць.

Переваги системи SI:

- універсальна, тобто охоплює всі сфери вимірювань і являє собою сукупність когерентних систем (МКС, МКСА і ін.), в яких похідні одиниці всіх величин отримані за допомогою визначальних рівнянь з числовими коефіцієнтами, рівними 1;
- уніфікована, наприклад, замість атм., Мм.рт.ст., м.вод.ст., бар в ній застосовується єдина одиниця тиску - паскаль;
- розмежовує одиниці маси і сили;
- спрощує запис рівнянь і формул, перекладних коефіцієнтів;
- забезпечує можливість створення єдиного технічного мови сфері вимірювань, науки, економіки, зрозумілого фахівцям розрізних країн.

Питання для самоконтролю

1. Що таке фізична величина?
2. Що таке фізичний процес?
3. Що таке фізичне поле?
4. Що таке рід фізичної величини?
5. Що таке розмір фізичної величини?
6. Що таке значення величини?

Рекомендована література

1. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. посібник. - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2007. - 624 с.

2. Кривошеков В.И. Метрология, стандартизация и качество продукции: учебное пособие / В.И. Кривошеков. – Днепр: ГВУЗ «Национальный горный университет», 2016. – 128 с.