

Розділ 2. Властивості об'єктів вимірювання. Класифікація властивостей

Різноманітність та складність сучасних енерготехнологій на ТЕС та АЕС потребують величезних масивів інформації про стан їх технологічних елементів. В термінах метрології такими елементами (об'єктами діяльності майбутнього інженера – теплоенергетика) являються:

- тіла (основне та допоміжне обладнання на ТЕС та АЕС);
- речовини (технологічні середовища – паливо, вода, повітря тощо);
- процеси (термодинамічні цикли ТЕС, АЕС, ГТУ, ПГУ та процеси спалювання, теплопередачі, видалення відходів та їх утилізації);
- явища, ефекти (радіоактивність палива та відходів АЕС, термоелектричний ефект тощо).

Для відзнаки одного об'єкту від іншого або знаходження їх спільності використовують філософську категорію, яка має назву *властивість об'єкта*.

Властивість – це ознака, яка притаманна об'єкту та відрізняє його від інших або робить його схожим на них (твердість металу, шершавість його поверхні, колір). Сукупність суттєвих властивостей конкретного об'єкту виражає його якісну визначеність. Сукупність виявлень яких-небудь властивостей утворює множину, елементи якої знаходяться у визначених логічних відношеннях.

Одержання якісної або кількісної інформації про властивість об'єктів діяльності шляхом вимірювання є предметом метрології. Саме *властивості об'єктів діяльності підлягають вимірюванням*, тому поняття “властивість” використовується у визначеннях багатьох сучасних метрологічних термінів (табл. 1.1).

На загальнозмістовому рівні властивості можна згуртувати в чотири класи, що об'єднують якісні і кількісні властивості та їх комбінації з докорінними властивостями матеріального світу: просторові-часові та комбіновані властивості (рис. 2.1) [1].



Рис.2.1. Класифікація властивостей об'єктів вимірювання

2.1. Якісні властивості об'єктів

Якісна властивість описується множиною її виявлень, які не мають кількісної характеристики. Конкретні виявлення якісної властивості прийнято називати *оцінкою властивості*. У якісних властивостей виділяють такі ознаки: дискретність, неперервність, неупорядкованість, упорядкованість по схожості та багатомірність.

Дискретність електрична – фундаментальна якісна властивість, одна із найбільших загадок природи, що інтригує: існує мінімальний електричний заряд (заряд електрона), якому кратні усі електричні заряди.

Прикладом *неперервної* ознаки об'єкту вимірювання є плавкість золи енергетичного вугілля, яка залежить від її складу та густини характеристик складових, функціонально пов'язаних з температурою. Плавна зміна останньої обумовлює неперервну зміну плавкості золи та *органолептичної*¹ ознаки (деформації експериментальної золлової пірамідки).

¹*Органолептичний* (орган + гр. lepticos – здатний взяти, сприйняти) – виявлений за допомогою органів чуття людини.

Так, вугільний пил як результат помелу вугілля в кульових барабанних млинах ТЕС – *зліченна невпорядкована* за крупністю множина частинок вугілля. Той же вугільний пил, розсіяний через сита з різними лінійними розмірами вічок, становиться *зліченною упорядкованою* за крупністю множиною частинок вугілля.

Багатомірними якісними властивостями з деякими кількісними ознаками є:

- *шум парової турбіни*, як будь – який небажаний звуковий процес, являє собою нерегулярні коливання, що виникають в результаті складання численних коливань з близькими амплітудами (гучностями), але з різними частотами (висотами). Складний спектральний вміст його формується двома принципово різними за природою складовими:

- механічна складова з низькочастотним інтервалом спектру (50–500) Гц, обумовлена залишковим дисбалансом роторів турбіни та несоосністю і зломом її валів;

- аеродинамічна складова з високочастотним інтервалом спектру (2–20) кГц, обумовлена шумом турбулентності, який виникає при обтіканні потоком пари елементів проточної частини турбіни та її лабіринтових ущільнень.

Оскільки людське вухо сприймає частоти 16 Гц–20 кГц, то увесь частотний діапазон шуму парової турбіни (50 Гц–20 кГц) під час дії на органи слуху людини здібний викликати звукові відчуття, в тому числі і болісні;

- фотохімічний (Лос-Анджелеський) смог (англ. smog від smoke – дим та fog туман) – тип забрудненої атмосфери великих міст, яка є результатом взаємодії сонячного випромінювання з оксидами азоту (NO, NO₂), котрі містяться у викидах до атмосфери димових газів ТЕС. В результаті такої взаємодії виникають фотохімічні оксиданти – сильні окислювачі (наприклад, озон – O₃). Усі вони відповідні за деяке забарвлювання тканин та мають цілий комплекс інших небезпечних, в тому числі і органолептичних

властивостей: сильно подразнюють очі та носоглотку за умов високої концентрації спричиняють сильний кашель, призводять до спазми грудної клітки та до неможливості зосередитися. Крім того, смог помітно зменшує видимість та надає атмосфері жовто-коричневий відтінок.

Якісні властивості використовуються в різних моделях ідентифікації та класифікації: розпізнання образів; якісного хімічного та хроматографічного аналізу; технічної діагностики²; ремонтів енергетичного обладнання тощо.

Слід мати на увазі принципову непереоводимість якісних властивостей в кількісні, яка обумовлена відсутністю у якісних властивостях кількісного відношення «більше – менше».

2.2. Кількісні властивості (величини)

Кількісна властивість описується множиною її кількісних виявлень. Конкретне виявлення кількісної властивості прийнято називати *величиною*. Поняття “величина” є фундаментальним поняттям метрології. Одне з перших його визначень надано у “Алгебрі” Л. Ейлером, яка вийшла в світ у 1766 році: «...зветься величиною все те, що здібне зростати чи зменшуватись, або те, до чого можна дещо додати, або від чого можна дещо відняти. Таким чином, сума грошей є величиною, тому що допускає додавання до себе або віднімання від себе. Також і вага є величиною за тих же причин». Однак таке визначення величини занадто широке, охоплює фізичні (масу, об’єм) та нефізичні (розум, честь, совість, апетит) величини та поширюється на такі поняття, як державний бюджет, родючість ґрунтів тощо. Таке широке поняття ускладнювало вивчення величин та створення теорії вимірювань.

Зараз розрізняють фізичні величини, притаманні матеріальним об’єктам, і нефізичні величини, властиві нематеріальним об’єктам, які розглядаються у філософії, соціології, психології. Поняття фізичні величини (ФВ) це

²Діагностика (від гр. *diagnōstikos* – здатний розпізнати) *технічна* – контроль, перевірка та прогнозування стану технічних систем (котлів, турбін, реакторів, енергоблоків).

найзагальніше поняття у фізиці та метрології. У «Международном словаре основных и общих понятий метрологии» (VIM, 2-е изд., 1993 г) замість ФВ використано поняття “величина (вимірна), як характерна ознака (атрибут) явища, тіла або речовини, що може вирізнятися якісно та визначатися кількісно“. Таким чином, ФВ – це, перш за все властивість, яку можна прямо або опосередковано піддавати вимірюванням. Завдяки цьому закони фізики, пов’язуючи між собою такі ФВ, набувають вигляду математичних рівнянь, що уможливорює проведення розрахунків за загальними правилами математики. У ДСТУ 2681-94 *фізичну величину визначено як властивість, спільну в якісному відношенні у багатьох матеріальних об’єктів та індивідуальну в кількісному відношенні у кожного з них.*

Спільні в якісному відношенні властивості характеризуються родом ФВ¹; вони можуть бути і різними за назвами (різнойменні) ФВ: чи довжина, ширина, висота, глибина, відстань, чи електрорушійна сила (ЕРС), електрична напруга, електричний потенціал, чи робота, енергія, кількість теплоти. Про такі ФВ кажуть, що вони одного роду, чи *однорідні*². Фізичні величини, які не являються однорідними, називають *різнорідними*, чи *неоднорідними*.

Кількісно індивідуальні властивості характеризують розміром³ ФВ, який вводить для встановлення різниці кількісного вмісту властивостей у кожному об’єкті. Наприклад, швидкість, температура, в’язкість – властивості притаманні самим різним об’єктам, але у одних об’єктів даної властивості більше, у інших менше. Отже і розміри швидкості, температури, в’язкості у одних ФВ більші, ніж у інших.

Розміри ФВ можуть змінюватись неперервно або стрибкоподібно (дискретно). *Неперервними (аналоговими) величинами* називають величини, можливі розміри яких у скінченному проміжку часу, змінюючись, утворюють незліченну множину, а дискретними (квантованими) величинами – такі, що

³Рід ФВ – це якісна визначеність ФВ.

⁴Однорідні ФВ – це величини, які можна зрівнювати між собою кількісно.

⁵Розмір ФВ – це кількісна визначеність ФВ, притаманна конкретному матеріальному об’єкту.

утворюють зліченну множину.

Натомість на практиці поняття “розмір” для кількісної оцінки місткості ФВ не використовується через те, що не містить прямої кількісної оцінки. Для цього використовують поняття «значення ФВ» (див. табл. 1.1). Значення ФВ (x_N) визначається через *числове значення*⁴ (N_x) та *одиницю*⁵ (Δx_k) як $x_N = N_x \Delta x_k$ і представляє собою іменоване число.

Усі величини поділяються на *неархімедові, скалярні, векторні та багатомірні*.

Неархімедова величина являється упорядкованою за розміром, але до неї немає сенсу вживати поняття пропорційності: одне проявлення конкретної властивості може бути більше чи менше іншого, але визначити у скільки разів – неможливо. Принципово неможливість установлення відношення пропорційності не дозволяє переводити неархімедову величину в більш звичну скалярну, яка має одиницю вимірювання.

Прикладом дискретних неархімедових величин можуть служити: числа твердості мінералів (за Моосом), бали сили вітру (по Бофорту), бали сили землетрусу за спостереженим руйнуванням, числа закругленості частинок золошлакових матеріалів (ЗШМ) ТЕС, числа п'ятибальної системи оцінки знань учнів тощо. Неперервні неархімедові величини – числа твердості по Бринеллю (НВ), Віккерсу (НV), як відношення навантаження (в ньютонах) до площі (в метрах квадратних), а також числа температурної характеристики плавкості золи вугілля, як відображення деформації пірамідального зразка золи під час його нагрівання, числа світлочутливості (для фотоматеріалів) тощо.

Розрізняють також *скалярні та векторні величини*. Скалярні величини, які мають тільки розмір, можуть бути неполярними, тобто мати лише розмір (маса, об'єм), або полярними, тобто мати, крім розміру, ще й знак (електричний заряд). Векторні величини (сила, швидкість, прискорення)

⁴Числове значення ФВ – це абстрактне (рос. отвлеченное) число, що входить до значення ФВ.

⁵Одиниця вимірювання (ФВ) – це величина фіксованого розміру, для якої умовно (по визначенню) прийняте числове значення, рівне одиниці.

мають не лише розмір, а й напрямок.

Скалярні величини – це головна та найбільш різноманітна група величин. Серед скалярних величин є лічильні (цілочисельні), пропорційні, адитивні, інтервальні, відносні.

Лічильні величини дискретні, вони виражаються цілими позитивними числами. Об'єкти лічби можуть бути *однорідними* (електрони, молекули, енергоблоки, політичні партії) або *різноманітними* – елементи теплової схеми енергоблоку (основне та допоміжне обладнання – котел, турбіна, конденсатор, підігрівачі технологічних середовищ тощо).

Пропорційні та адитивні величини виражаються неперервною множиною позитивних дійсних чисел. Для пропорційної величини притаманні операції арифметичного віднімання, множення та ділення, для адитивних – ще й додавання (складання). Прикладом пропорційної величини може служити термодинамічна температура, адитивної – маса, об'єм. Деяким скалярним величинам в різних ситуаціях притаманні різні ознаки. Так, електричний опір ділянки ланцюга при послідовному з'єднанні резисторів являється адитивною величиною, а при паралельному – пропорційною.

Інтервальні величини відзначаються тим, що для них неможливо логічно обґрунтовано визначити нульову кількість. Одною найбільш званою інтервальною величиною є поточний час, відлік якого проводиться від умовного нуля в будь-яку сторону (позитивну чи негативну). Інтервал часу між двома подіями може бути рівним нулю, якщо такі події сталися водночас. Другим прикладом інтервальної величини є температура, як результат відліку по шкалі Цельсія рідинного термометра розширення. В ній за початок відліку (за домовленістю) приймається температура танення льоду, з якою зрівнюється вимірювана температура.

Відносними величинами являються різноманітні коефіцієнти (пропускання, відображення, підсилення, корисні дії тощо), ймовірність, критерії подібності, числа Рейнольдса, Нуссельта тощо. Відносна величина за визначенням є відношенням двох кількісних виявлень однієї і тієї ж

властивості. Таке відношення виражається дійсним числом, для якого логічно зумовленою одиницею вимірювання є арифметична одиниця. Натомість у російській метрології усі відносні величини називаються «безразмерними», тобто такими, що не мають розмірів. Насправді, як показано у главі 5, вони безрозмірні, що мають нульову розмірність.

Багатомірні величини можуть бути двомірними, тримірними та іншої мірності. В цьому ряді скалярні величини слід відносити до одновірних. Для багатомірних величин логічне співвідношення “більше – менше” в загальному випадку немає сенсу. Операції складання та множення мають для них специфічний характер. Так, сума декількох нульових векторів може бути рівна нулю, а добуток векторів буває скалярним та векторним. Прикладом двомірних величин є: сукупність повного та статичного тиску газу як результат динамічної дії вимірювального зонду (наприклад, напірних трубок Піто, Прандтля) на його потік; тиск крові людини як сукупність верхнього систолічного (гр. *cystoe* – стискання, скорочення) та нижнього діастолічного (гр. *diastole* – розтягнення) артеріального тиску, частота і напруга синхронного генератора, які водночас змінюються при зміні швидкості обертання ротора. Тримірні величини (вектори) – це переміщення, швидкість, прискорення просторового руху точки, сила, напруженість електричного поля тощо.

Багатомірним являється оточуючий нас простір та його властивість – протяжність, загальноприйнятою характеристикою якої є довжина. Однак протяжність реального фізичного простору – складна властивість, яка не може характеризуватися лише довжиною. Для повного опису простору розглядається його протяжність по декількох напрямленнях (координатах) або використовуються такі властивості (ФВ) як кут, площа, об’єм.

Просторово-часові властивості виділяються в окремий клас, враховуючи фундаментальність характеру філософських та природничо-наукових уявлень про час та простір. Властивості, віднесені до просторово-часової категорії, мають особливі характеристики та поділяються на три групи.

Просторові властивості включають величини взаємного розташування, направлення, просторовій симетрії, структури і поляризації. Просторовими величинами являються: відстань (довжина відрізка), площа, об'єм тощо.

Для *часових властивостей* в загальноприйнятій моделі часу характерні безмежність в минуле та майбутнє, однонаправленість, неперервність, рівномірність бігу часу. Виділяються часові величини, власно час (хронологія подій, котрі відлічуються від прийнятого по згоді нуля - початку літочислення) та інтервали часу (скалярна адитивна величина в інерційній системі відліку). Такі інтервали часу, як правило, мають спеціальні назви, наприклад *час релаксації*⁶, *період напіврозпаду*⁷, *пуску та зупину енергоблоку, котла, турбіни* тощо.

Якщо розміри скалярних або розміри та напрямки векторних величин не змінюються, їх називають сталими (незмінними), якщо змінюються – змінними величинами. Сталість чи змінність може розглядатися як функції часу або функція простору. Залежність ФВ як функції часу є процесом, а як функції простору (координат) – утворює поле. Таким чином, і час релаксації, і період напіврозпаду є тими сталими інтервалами часу, від яких залежить процес досягнення рівноваги системи та зниження радіоактивності хімічних елементів. А залежність від координат температури робочої лопатки турбіни чи вихідної швидкості пари в поперечному перетині її вихідного патрубку – це приклади температурного поля чи поля швидкості пари в елементах конструкції турбіни.

Третю групу складають властивості, яким водночас притаманні як часові, так і просторові характеристики, які теорія відносності визначає єдиним просторово – часовим *континуумом*⁸. Такому матеріальному середовищу властиві відносні просторові протяжності (довжини) та інтервали часу в рухомій системі відліку.

⁶*Час релаксації* (від лат. relaxation – ослаблення, зменшення) інтервал часу, за який відхилення якого небудь параметра системи (процесу) від його рівноважного значення зменшуються в $e = 2,718$ рази.

⁷*Період напіврозпаду* – інтервал часу, за який розпадається половина здібних до розпаду ядер елемента.

⁸*Континуум* (від лат. continuum – неперервне) – це суцільне матеріальне середовище, властивості якого змінюються у просторі неперервно.

Комбіновані властивості об'єднують різні види якісних кількісних та просторово-часових властивостей; усі вони, як правило, багатомірні. Наприклад, стан погоди характеризується сукупністю показників, серед них – атмосферний тиск, температура, швидкість і напрямок вітру, кількість та види опадів, вологість, ступень та вид хмарності, концентрація та вид аерозолів тощо. Другий приклад – кількісні показники надійності енергоблоку, серед яких коефіцієнт готовності (K_2), коефіцієнт технічного використання ($K_{мс}$) та коефіцієнт оперативної готовності ($K_{о2}$) [7]:

$$K_2 = \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_3}, \quad K_{мс} = \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_3 + \tau_{нл}}, \quad K_{о2} = \frac{\tau_p + \tau_{рез}}{\tau_p + \tau_3 + \tau_{нл} + \tau_{рез}},$$

де τ_p , τ_3 , $\tau_{нл}$, $\tau_{рез}$ – інтервали часу, відповідно, роботи енергоблоку, змушеного чи планового простою та простою у резерві.

2.3. Класифікації властивостей (величин) за іншими ознаками

Заслужують уваги класифікації ФВ за такими ознаками:

- характер виявлень розмірів під час виконання досліджень;
- належність до різних груп фізичних процесів;
- ступень умовної незалежності від інших величин даної групи ФВ (ієрархічний принцип).

За характером виявлень розмірів у процесі дослідження ФВ поділяються на енергетичні (активні), речовинні (пасивні), та такі, що характеризують протікання процесів у часі.

Енергетичні (активні) ФВ – це величини, які описують енергетичні характеристики процесів виробництва, перетворення, передавання та використання енергії в умовах ТЕС та АЕС. До них відносяться витрати теплоти в тепловій мережі, електричний струм та напруга в електричній мережі, потужність двигунів та генераторів, витрати електроенергії тощо. Ці ФВ називають активними, оскільки вони можуть бути перетворені в сигнал вимірювальної інформації без використання допоміжних джерел енергії

(наприклад, вимірювання напруги вольтметром магнітоелектричної системи).

Речовинні (пасивні) ФВ – це величини, які описують фізичні та фізико-хімічні властивості речовин (паливо, гази, рідинні технологічні середовища); до цієї групи відносяться маса, об'єм. Такі ФВ називаються пасивними, тому що для їх вимірювання необхідно використовувати допоміжні джерела енергії живлення. За їх допомогою пасивні ФВ перетворюються на активні, які й вимірюються.

До групи ФВ, що характеризують протікання процесів у часі, відносяться різного роду залежності ФВ від часу, наприклад, розгінні характеристики об'єкту регулювання, графіки завдання пуску енергоблоку тощо.

По відношенню до різних груп фізичних процесів ФВ поділяються на механічні, теплові, електричні, магнітні, світлові, фізико-хімічні, іонізаційних випромінювань, атомної та ядерної фізики.

Розподіл ФВ за ознакою їх умовної залежності від інших ФВ даної групи обумовлений великою різноманітністю властивостей (ФВ) об'єктів виміру, що спонукає необхідність зведення їх в певну систему. Так, наприклад, якщо як незалежні величини вибрати довжину, масу та час, то усі величини механіки можна послідовно виразити через вказані три незалежні величини, створивши таким чином систему ФВ⁹. По ступеню умовної незалежності від інших величин даної системи ФВ розподіляють на основні¹⁰ та похідні¹¹. Вибір ФВ, які приймаються за основні, та їх числа в принципі довільні, однак практичне розуміння приводять до деякого обмеження свободи вибору. Так, Міжнародна система SI (System International) має 7 основних та 113 похідних величин. Кожній основній ФВ надається символ у вигляді літери латинського чи грецького алфавіту: довжина – L, маса – M, час – T, сила електричного струму – I, температура – Θ , кількість речовини – N, сила світла – J, тому система величин SI називається «система величин LMTI Θ NJ».

⁹Система ФВ – це сукупність ФВ, яка створена відповідно з прийнятими принципами, коли одні ФВ приймаються як незалежні, а інші визначаються як функції незалежних величин.

¹⁰Основна ФВ – це ФВ, яка умовно прийнята як незалежна від інших величин системи.

¹¹Похідна ФВ – ФВ, яка визначається через основні величини системи

В метрологічній практиці використовується ще одна класифікація ФВ, яка обумовлена широким використанням в метрології такої вимірювальної операції, як *вимірювальне перетворення ФВ*, коли вхідна ФВ перетворюється у вихідну, функціонально з нею пов'язану. Ця операція проводиться вимірювальним перетворювачем. Залежно від того, перетворюються чи ні під час вимірювання усі ФВ поділяють на дві групи:

- безпосередньо вимірювані ФВ, які в процесі вимірювання порівнюються з собі подібними, наприклад, довжина, час, маса тощо.

- величини, які перетворюються в процесі вимірювання в безпосередньо вимірювані, наприклад, температура, густина, концентрація тощо.

Контрольні запитання

1. Визначити якісні властивості об'єктів вимірювання. Якісні властивості яких об'єктів теплоенергетики визначають такі прикметники: крупні, тонкі, фракційні, капітальні, плавкі, вугільні, газові тощо?

2. Визначити багатомірні, неархімедові та векторні кількісні властивості (величини) та навести приклади таких величин в теплоенергетиці.

3. Надати скалярні властивості (величини) та навести приклади таких величин в теплоенергетиці.

4. Визначити неархімедові та фізичні величини; що їх узагальнює та розрізняє?

5. Дати визначення понять «розмір величини», «числове значення величини» та обумовити їх використання.