**Лекція 6.**

**Тема.** Основні види та методи вимірювання хімічного аналізу.

**План лекції**

6.1. Види вимірювань.

6.2. Методи вимірювань.

6.3. Планування та організація вимірювань.

**Види вимірювань.** Розрізняють два основні види вимірювань: прямі та непрямі. *Пряме вимірювання* – це вимірювання однієї величини, значення якої знаходять безпо­середньо (за показом відповідного засобу вимірювань, наприклад, вимірювання довжи­ни лінійкою, напруги - вольтметром).

*Непряме вимірювання* – це вимірювання, в якому значення однієї чи декількох ви­мірюваних величин знаходять після обчислення за відомими залежностями їх від декількох величин аргументів, що вимірюються прямо. Непрямі вимірювання можуть бути опосередкованими, сукупними або сумісними.

При *опосередкованому вимірюванні* значення однієї величини визначають за результатами прямих вимірювань інших величин, з якими вимірювана величина пов'я­зана явною функціональною залежністю. Наприклад, значення електричного опору https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image139.gifзнаходять за результатами прямих вимірювань напруги *U* вольтметром та сили струму *I* амперметром. Опосередковані вимірювання виконують тоді, коли значення величин неможливо або складно виміряти прямо, або ж коли опосередковані вимірювання забезпечують вищу точність, ніж прямі.

*Сукупними* називають непрямі вимірювання, в яких значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, що пов'язують різні сполучення цих величин, які вимірюються прямо або опосередковано.

*Сумісними* називають непрямі вимірювання, в яких значення декількох одночасно вимірюваних різнорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, які пов'язують їх з іншими величинами, що вимірюються прямо або опосередковано. Наприклад, відомо, що опір терморезистора https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image141.gifде *R0* – опір резистора при температурі 0°*С*, *a* – температурний коефіцієнт опору. Якщо значення *R0* та *a* не можна знайти прямими чи опосередкованими вимірюваннями, то вимірюють опір *Rt1* при температурі *t1* та *Rt2* при температурі *t*2 і складають систему рівнянь

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image143.gif |  |

розв'язуючи яку, знаходять

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image145.gif |  |

Сумісні вимірювання використовуються також для визначення залежності між величинами.

**Методи вимірювань.** Під методом вимірювань розуміють сукупність способів ви­користання засобів вимірювальної техніки та принципу вимірювань для створення вимі­рювальної інформації. А принципом вимірювання називають сукупність явищ, на яких засноване вимірювання, наприклад, вимірювання температури з використанням термо­електричного ефекту.

Послідовність вимірювальних операцій, що забезпечує вимірювання згідно з обра­ним методом, називають процедурою вимірювань. А сукупність процедур і правил, ви­конання яких забезпечує одержання результатів з потрібною точністю, називають мето­дикою виконання вимірювання.

Класифікуючи методи вимірювань, професор А.Д. Нестеренко поділяє їх на мето­ди *одночасного* та *різночасного порівняння*. Методи різночасного порівняння часто нази­вають методами безпосереднього оцінювання на цій підставі, що вони ґрунтуються на використанні вимірювальних приладів із заздалегідь проградуйованими в одиницях вимірюваної величини шкалами. До методів безпосереднього оцінювання належать прямі вимірювання, за винятком методів, заснованих на безпосередньому порівнянні розміру вимірюваної величини з розміром величини, що відтворюється мірою (вимірювання довжини за допомогою лінійки з поділками).

Методи, засновані на одночасному порівнянні, об'єднані загальною назвою ме­тодів порівняння. До них належать згідно з ДСТУ2681-94: метод зіставлення, метод збігу, метод зрівноваження з регульованою мірою та диференційний метод.

Суть *методу зіставлення* полягає у прямому вимірюванні з одноразовим порів­нянням вимірюваної величини зі всіма вихідними величинами багатозначної нерегульованої міри, наприклад, вимірювання довжини лінійкою з поділками, вимірювання інтервалу часу годинником.

*Метод збігу* (метод ноніуса) – це метод прямого вимірювання з одноразовим по­рівнянням вихідних величин двох багатозначних нерегульованих мір, з різними за зна­ченням ступенями, нульові позначки яких зсунуті між собою на вимірювану величину. Прикладом такого методу вимірювань може бути вимірювання лінійного розміру (діаметра) за допомогою штангенциркуля з ноніусом (рис. 10). Основна шкала проградуйована в міліметрах, а шкала ноніуса має 10 поділок по 1.8 мм. Тому порядковий номер поділки ноніуса, що збігається з будь-якою поділкою основної шкали, дає число десятих часток міліметра.

*Метод подвійного збігу* (метод коінциденції, соіnсіdеnсе – збіг) – це метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням двох квантованих фізичних величин: вимі­рюваної та відтворюваної багато­значною нерегульованою мірою, на­приклад, вимірювання інтервалу ча­су *Тх* з використанням послідовності періодичних імпульсів з відомим значенням їх періоду *Т0* (рис. 11).

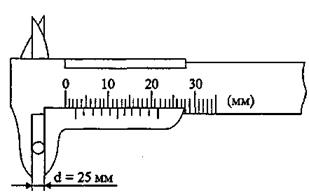


Рис. 10 До вимірювання за методом збігу (ноніуса)

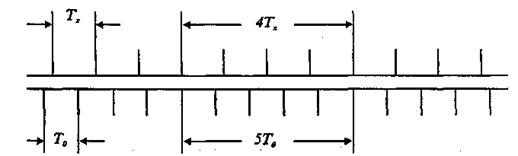


Рис. 11 До вимірювань за методом подвійного збігу

*Метод зрівноваження* з регульованою мірою (нульовий метод, null method of measurement) – це метод прямого вимірювання з багаторазовим порівнянням вимірюва­ної величини та величини, що відтворюється регульованою мірою до їх повного зрівно­важення, як, наприклад, вимірювання електричної напруги компенсатором.

Суть *диференційного*, або *різницевого* методу полягає у вимірюванні, при якому невелика різниця між вимірюваною величиною та вихідною величиною одноканальної міри вимірюється відповідним засобом вимірювань.

Особливо цікавим з погляду досягнення високої точності вимірювань є *метод заміщення*. Це метод непрямого вимірювання з багаторазовим порівнянням до повного зрівноваження вихідних величин вимірювального засобу при почерговій дії на його вході вимірюваної величини та регульованої міри. Іншими словами, суть цього методу полягає у порівнянні вимірюваної величини з мірою заміщенням цієї вимірюваної величини відомою величиною, відтворюваною мірою. При цьому методі передбачається запам'ятовування ефекту дії на засіб вимірювань вимірюваної величини (тобто запа­м'ятовування значення вихідної величини вимірювального засобу), що потім віднов­люється при заміщенні вимірюваної величини регульованою багатозначною мірою.

Прикладом може бути вимірювання за допомогою порівняно неточного моста з вико­ристанням як заміщуючого засобу (міри) зразкового магазину опорів. Метод заміщення в цьому випадку дозволяє майже повністю виключити похибку моста з результату вимі­рювань.

Дуже наочним прикладом використання методу заміщення є зважування маси *тх* її урівноваженням масою *т0* до одержання певного показу відлікового пристрою з наступним заміщенням маси *тх* масою *mN*, значення якої плавно ре­гулюється до досягнення поперед­нього показу відлікового пристрою (рис. 12). Похибка зважування у цьому випадку визначається лише похибкою регульованої міри, а похибка від недосконалості ваги (наприклад, неточність виконання довжин плеч коромисла) виключається.

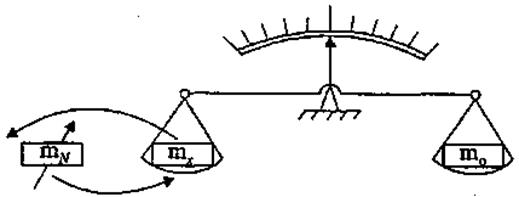


Рис. 12 До вимірювань за методом заміщення

**Планування та організація вимірювань.** Вимірювання фізичних величин є основою як наукового експерименту, так і масо­вих вимірювань в усіх галузях народного господарства. Досліджувані процеси та об'єк­ти є багатогранними. Досліджуючи об'єкт чи технологічний процес, доводиться вимірю­вати ряд фізичних величин та параметрів технологічних процесів. Як і будь-яке інше експериментальне дослідження, вимірювання має певні стадії організації та виконання. Це зокрема:

− формування мети;

− складання програми експерименту, методична та матеріальна підготовка експерименту;

− проведення експерименту;

− опрацювання результатів вимірювань та оцінка похибки вимірювань;

− аналіз отриманих результатів та формулювання оцінки проведених вимі­рювань.

Загалом вимірювання фізичних величин є багатоступінчастим процесом, що поєднує як саму процедуру вимірювань з її типовими вимірювальними операціями, так і ряд підготовчих та заключних процедур, які необхідно виконати до та після самих вимірювань.

Отже, процес вимірювання можна розділити на три етапи:

− підготовка та планування вимірювань;

− виконання вимірювань;

− опрацювання та аналіз отриманих даних.

Основними питаннями, які потрібно вирішити на етапі підготовки та планування вимірювань, є:

− модель досліджуваного об'єкта, наприклад, під час вимірювання змінного струму здебільшого приймається його гармонічна модель, а у випадку несинусоїдних струмів модель ускладнюється вищими гармонічними складови­ми, сталою складовою;

− вимірювані параметри моделі, наприклад, для синусоїдного струму необхідно знати, який із параметрів вимірюватиметься: ефективне значення струму, амплітудне чи інший параметр (частота);

− мета вимірювання, яка встановлює потрібну точність вимірювань та знач­ною мірою впливає на вибір моделі вимірюваної величини;

− залежності між величинами, значення яких необхідно визначити за безпосередньо вимірюваними величинами (при непрямих вимірюваннях);

− умови вимірювань та фактори;

− допустимі похибки вимірювань, а при непрямих вимірюваннях допустимі похибки вимірювань кожної із безпосередньо вимірюваних величин;

− необхідні методи вимірювань окремих величин;

− потрібні засоби вимірювальної техніки, їх метрологічні характеристики;

− способи корекції похибок вимірювань;

− форма подання результатів вимірювань;

− необхідні алгоритми та засоби опрацювання експериментальних даних та їх достовірності;

− необхідні затрати для виконання поставленого завдання;

− економічна ефективність вимірювань.

Досліджуваний об'єкт та мета досліджень здебільшого задаються. Але навіть у цьому випадку звичайно уточнюють мету та завдання вимірювального експерименту, проаналізувавши, як будуть використовуватись результати вимірювань для оцінки до­сліджуваного об'єкта, ефективності його функціонування. Важливим етапом підготовки до вимірювань є визначення характеру та можливих значень досліджуваних величин з урахуванням властивостей досліджуваного об'єкта. Оцінюються границі можливих зна­чень вимірюваних величин, частотний спектр, взаємні зв'язки тощо. Все це уточнюється на основі апріорних даних і, якщо необхідно, за попередніми вимірюваннями.

Для оцінки потрібної точності вимірювань враховують мету вимірювань. При масових вимірюваннях вимоги до точності диктуються економічними міркуваннями. Вимоги до точності повинні бути обґрунтованими і їх не можна завищувати, бо чим ви­ща точність вимірювань, тим більше при інших однакових умовах потрібно ресурсів та часу для виконання експерименту. Крім цього, чим точніші та чутливіші прилади, тим вони звичайно складніші, вимагають кваліфікованішого обслуговування.

Означення основних термінів з планування вимірювального експерименту дає ГОСТ 24026–80 "Исследовательские испытания. Планирование эксперимента". Згідно з цим стандартом план експерименту – це сукупність даних, що визначають кількість, умови та послідовність виконання дослідів. Мета планування – підвищення ефек­тивності одержання інформації про об'єкт дослідження, що потрібно для побудови його моделі, яка виражає залежність його вихідних величин від вхідних факторів, або для оцінювання параметрів моделі, якщо вона заздалегідь вибрана. Вибір моделі визна­чається не тільки властивостями об'єкта, але й її призначенням, вимогами адекватності, простоти та компактності.

Вимірювальні експерименти поділяють на пасивні та активні. Планування пасив­них експериментів полягає в оптимізації збирання та опрацювання інформації про об'єкт дослідження без впливу дослідника на факторний простір. При активному експе­рименті дослідник задає рівні факторів. В однофакторному активному експерименті змінюють рівні одного фактора при фіксованих рівнях інших факторів. В багатофакторному експерименті змінюють рівні декількох факторів при однакових комбінаціях інших факторів.

**Визначення статистичних параметрів розподілу на підставі побудови гістограми.**

У звичайних умовах параметри розподілу визначаються за допомогою мате­матичного опрацювання обмеженої кількості результатів спостережень, званої вибіркою. Множина результатів спостережень, з котрих зроблено вибірку, називається гене­ральною сукупністю результатів спостережень. При атестації засобів вимірювання вико­нують обмежену кількість вимірювань одного і того ж розміру, котру також називають вибіркою. Генеральною сукупністю в цьому випадку буде множина розмірів, які можна було б отримати даним вимірювальним засобом при дотриманні умов вимірювання, вказаних в інструкції з експлуатації засобу вимірювання.

Розглянемо як будуються емпіричні криві розподілу. Нехай об'єм вибірки ста­новить *п*, найменший розмір *хтіп*, найбільший – *хмах*. Для побудови емпіричних кривих розподілу необхідно розбити весь отриманий діапазон *хтах* - *хтіп* на *r* інтервалів.

Кількість інтервалів при великих вибірках доцільно брати округленим https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image153.gif. При великих вибірках кількість інтервалів встановлюють залежно від кількості спостережень за такими рекомендаціями:

|  |  |
| --- | --- |
| *п* | *r* |
| 40-100 | 7-9 |
| 100-500 | 8-12 |
| 5000-10000 | 10-16 |

Довжину інтервалів зручніше вибрати однаковою. Але якщо розподіл має раптові стрибки в сусідніх інтервалах, то в області максимальної концентрації результатів спостережень належить вибирати вужчі інтервали. Ширина інтервалу має бути зручною для графічних робіт відносно поділок вздовж осі *х*. Нижню межу першого інтервалу не варто брати такою, як *xmіп* якщо вона не відповідає зручному положенню на осі *х*. При опрацюванні результатів потрібно надати перевагу відхиленням розмірів, а не розмірам (для зменшення помилок при обчисленнях). Особливо великі помилки виникають при обчисленні моментів другого та вищих порядків.

Кількість розмірів *т*, що попали в заданий *і-й* інтервал за умовою

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image155.gif | (5.1) |

називається абсолютною частотою. У нерівності (5.1) *хj* є результатом *j-го* спостереження вибірки, в якій https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image157.gif– верхня межа *i-го* інтервалу; *хін* – нижня ме­жа *і-го* інтервалу, яка дорівнює верхній межі (*і* - 1*)-го* інтервалу. Необхідно звернути увагу на те, що сума частот *ті* має дорівнювати кількості *п*, тобто

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image159.gif | (5.2) |

Відношення абсолютної частоти *ті* до загальної кількості спостережень *п* на­зивають відносною частотою і позначають

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image161.gif | (5.3) |

Відносна частота становить емпіричну оцінку ймовірності попадання результатів спостереження *хj* в *j-й* інтервал. Очевидно, що

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image163.gif | (5.4) |

Для наочності емпіричний розподіл подають графічно у вигляді *полігона, гіс­тограми розподілу* або *ступінчастої функції розподілу*.

Полігон будується так: на осі абсцис відкладають інтервали значень вимірюваної величини, в середині кожного із інтервалів відзначають ординати, пропорційні до частот і ординати з'єднують прямими лініями. Вибираючи масштаби вздовж осей абсцис та ординат дотримуються співвідношення ≈5:8, яке є найпоширенішим при зображенні кривих розподілу.

Гістограму будують так: над кожним інтервалом вздовж осі абсцис будують прямо­кутник, площа котрого пропорційна до відносної частоти https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image165.gifв цьому інтервалі, а висота буде пропорційною до абсолютної частоти при однакових інтервалах. При різних значен­нях Δ*х* висота прямокутника буде пропорційною до емпіричної щільності ймовірностей

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image167.gif | (5.5) |

Ступінчасту функцію розподілу будують так: в середині кожного інтервалу вздовж осі абсцис ордината зростає стрибком на значення, що відповідає https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image165.gif, і звідти проводять горизонтальну пряму до середини наступного інтервалу, де ордината знову зростає. Висота ординати в кожній точці відповідає емпіричній інтегральній функції розподілу.

**Еталони одиниць фізичних величин.**

*Класифікація еталонів і передавання розмірів одиниць фізичних величин.* Відповідно до поділу ФВ цієї системи відрізняють еталони одиниць основних і похідних величин, а за точністю відтворення і призначенням – первинні і вторинні еталони (рис .2.1).

Первинні еталони відтворюють і (або) зберігають одиниці та передають їх розміри з найвищою точністю, досягнутою в даній галузі, їх різновидом є спеціальні еталони, призначені для відтворення одиниць в умовах, коли пряма передача розміру від первинного еталона з потрібною точністю технічно нездійснена (надвисокі частоти, надто малі чи великі енергії, тиски або температури, особливі стани речовини). Первинні і спеціальні еталони є вихідними для країни, і їх затверджують як державні.

Еталони даної країни називають національними, а ті, що належать до певної групи країн, - міжнародними. Для забезпечення єдності вимірювань у міжнародному масштабі державні еталони окремих країн періодично звіряють між собою з міжнародними еталонами, що зберігається в Міжнародному бюро мір і вагів (МБМВ) у Парижі.

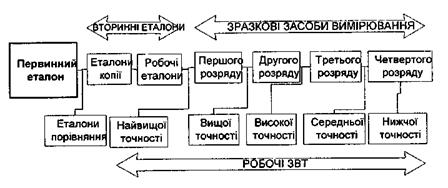


Рис. 1 Узагальнена схема передачі розмірів одиниць ФВ

*Державні первинні еталони основних одиниць СІ.* Склад, структуру характеристики еталонів основних одиниць СІ наведено в додатку 3.

Складність різних еталонів і точність відтворення ними розмірів одиниць не одна­кові. Найпростіший еталон кілограма, в складі якого є національний прототип кілограма №12 (гиря із платиноіридієвого сплаву циліндричної форми діаметром і висотою 39 мм) і еталонні рівноплечі терези на 1 кг з дистанційним управлінням для передавання розміру одиниці маси вторинним еталонам. Найточніший еталон секунди, який заразом є еталоном одиниці частоти - герца, а також шкал часу. Він забезпечує відтворення одиниць з відносним середнім квадратичним відхиленням (СКВ) результату вимірювань, яке не перевищує 1×10-13 при не вилученій відносній систематичній похибці, що не пере­вищує 1×10-12; найнижча точність еталона кандели, для якого ці похибки не перевищують відповідно значень 2×10-3 і 6×10-3. Нині значна увага приділяється вирішенню проблем створення еталонів, основаних на використанні квантовомеханічних явищ.

*Поняття еталона, зразкових і робочих засобів вимірювальної техніки.* Результати вимірювань мають виражатися в узаконених одиницях і з потрібною точністю. За інших рівних умов точність вимірювань визначається метрологічними характеристиками що використовуються в ЗВТ. Тому всі ЗВТ підлягають обов'язковій державній або відомчій верифікації (перевірці). Верифікація ЗВТ полягає в офіційному ствердженні їх придатності для застосування за призначенням на підставі результатів контролю їх характеристик, переважно метрологічних, на відповідність вимогам НТД.

З погляду верифікації всі ЗВТ ієрархічно поділяються на еталони, зразкові та робочі ЗВТ.

Еталон (еталон одиниці) – ЗВТ (або комплекс ЗВТ), що забезпечує відтворення і (або) зберігання одиниці ФВ з метою передачі її розміру тим ЗВТ, що стоять нижче за схемою перевірки, і офіційно затверджений в установленому порядку як еталон. Наприклад, комплекс ЗВТ для відтворення метра через швидкість поширення світла у вакуумі, затверджений як державний еталон метра.

Засоби вимірювання, що використовуються для вимірювань у різних галузях народного господарства, але не служать для перевірки інших ЗВТ, називаються ро­бочими ЗВТ.

Зразковими називаються ЗВТ, які служать для перевірки інших ЗВТ і офіційно за­тверджені як зразкові. Наприклад, зразкова міра, зразковий вимірювальний перетворювач, прилад. До зразкових ЗВТ належать також зразкові речовини та стандартні зразки.

Зразкова речовина – зразкова міра у вигляді речовини з відомими властивостями, які відтворюються при додержанні умов приготування, що вказані в затвердженій специфікації. Наприклад, чиста вода, чисті гази (водень, кисень), чисті метали (цинк, срібло, золото), сплави, неметали.

Стандартний зразок – міра для відтворення розмірів величин, що характеризують властивості або склад речовин і матеріалів. Наприклад, стандартний зразок складу певної руди для контролю правильності визначання вмісту її компонентів, градуювання вимірювальної апаратури; стандартний зразок властивостей феромагнітних матеріалів; стандартний зразок легованої сталі для контролю правильності аналізу її складу і т.д.

Отже, стандартні зразки є мірами, які відтворюють властивості зразко­вих речовин.

Зразкові ЗВТ, як і робочі, атестують і перевіряють за допомогою інших, точніших зразкових ЗВТ. Так здійснюється передача розмірів одиниць ФВ від еталона до зразкових і робочих ЗВТ.

Треба пам'ятати, що робочі ЗВТ не можна застосовувати для перевірки інших ЗВТ, якщо вони навіть точніші, ніж наявні зразкові засоби, оскільки вони не затверджені офіційно як зразкові. З іншого боку, зразкові ЗВТ не дозволяється використовувати як робочі для виконання практичних вимірювань навіть у найсприятливіших умовах їх експлуатації. Порушення цих правил може призвести до непередбачених негативних наслідків економічного характеру і до загрози здоров'ю чи навіть життю.

**Засоби вимірювань та їх метрологічні характеристики. Класифікація засобів вимірювань. Статистичний аналіз і оцінка похибок вимірювань.**

**Поняття і види засобів вимірювальної техніки.** Основою технічної бази метрологічного забезпечення є засоби вимірювальної техніки. Засобами вимірювальної техніки називають технічні засоби, які викорис­товуються при вимірюваннях і мають нормовані метрологічні характеристики. Метрологічними називаються ті характеристики ЗВТ, від яких залежить точність ре­зультатів, одержаних за їх допомогою. Нормування метрологічних характеристик полягає в законодавчому регламентуванні їх складу і норм значень.

Під видами ЗВТ розуміємо: міри, їх набори і магазини, вимірювальні пере­творювачі, прилади, установки і системи.

*Міра* – ЗВТ, що призначені для відтворення ФВ заданого розміру (однозначна міра) або ряду розмірів (багатозначна міра).

*Набір мір* – це спеціально підібраний комплекс конструктивно відокремлених мір, які можна використовувати не тільки окремо, але й у різних комбінаціях для відтворення ряду розмірів даної ФВ, наприклад набір гир, вимірювальних резисторів, конденсаторів, Набір мір, конструктивно об'єднаних в одне ціле з пристроєм для вмикання їх у різних комбінаціях, називається магазином мір. Наприклад, магазин опору, ємності, індуктивності.

*Вимірювальний перетворювач* – ЗВТ, що призначений для перетворення вхідного вимірювального сигналу на вихідний сигнал, який зручний для подальшого пере­творення, обробки, зберігання чи передавання вимірювальної інформації, але не для безпосереднього сприймання спостерігачем. Наприклад, калібрований шунт, вимірю­вальний трансформатор, атестована термопара.

*Вимірювальний прилад* – ЗВТ, вихідний сигнал якого придатний для без­посереднього сприймання вимірювальної інформації спостерігачем, завдяки наявності відлікового пристрою (шкала з вказівником, цифрове табло). Наприклад: вольтметр, ватметр, термометр. Вимірювальні перетворювачі і прилади об'єднують спільною назвою – *вимірювальні пристрої*.

*Вимірювальна установка* – сукупність функціонально об'єднаних ЗВТ (мір, вимірювальних пристроїв) і допоміжних технічних засобів (стабілізуючих, перемикаючих), розташована в одному місці і призначена для одержання вимірювальних сигналів, придатних для безпосереднього сприймання вимірювальної інформації спостерігачем. Наприклад, установка для випробувань феромагнітних матеріалів, для вимірювання питомого електричного опору електротехнічних матеріалів.

*Вимірювальна система* – сукупність ЗВТ і допоміжних пристроїв, що з'єднані каналами зв'язку, призначена для вироблення сигналів у формі, придатній для автоматичної обробки, передавання і (або) використання вимірювальної інформації в автоматизованих системах управління. Вимірювальні системи є різновидом інфор­маційно-вимірювальних систем (ІВС), до яких належать також системи автоматичного контролю, технічної діагностики, розпізнавання образів. ІВС входять до складу автоматизованих систем управління.

**Класифікація вимірювальних приладів.** Серед усіх видів ЗВТ найбільшого поширення набули вимірювальні прилади. Вони різноманітні за призначенням, принципом дії, метрологічними та експлуатаційними характеристиками. Тому їх можна класифікувати за багатьма ознаками, але з погляду подальшого викладу доцільно обмежитись розглядом найзагальніших класифікацій­них ознак.

За формою вимірювальної інформації, що міститься в інформативному параметрі вихідного сигналу, вимірювальні прилади поділяються на аналогові та цифрові. Аналоговим називається прилад, інформативний параметр вихідного сигналу якого є фізичним аналогом вимірюваної величини – інформативного параметра вхідного сигналу. Наприклад, переміщення рухомої частини електродинамічного вольтметра –аналог середнього квадратичного значення вимірювальної напруги.

Цифровим називається прилад, вихідний сигнал якого цифровий, тобто містить інформацію про значення вимірюваної величини, закодовану в цифровому коді. Покази аналогових приладів також цифрові, але їх аналогові вихідні сигнали квантує і кодує у цифровому коді сам спостерігач (експериментатор) під час відліку показів, а в цифровому приладі - операції виконуються автоматично.

Вимірювальний прилад, що допускає тільки відлік показів, називається пока­зуючим, а прилад, в якому передбачена автоматична фіксація вимірювальної інфор­мації, – реєструючим. Залежно від виду фіксації реєструючі прилади поділяються на самописні та друкуючі. Самописний прилад (самописець) записує вимірювальну інформацію в аналоговій формі у вигляді діаграми, а друкуючий друкує вимірювальну інформацію в цифровій формі.

Залежно від виду значення вимірюваної величини, тобто інформативного параметра вхідного сигналу, відрізняють прилади миттєвих та інтегральних (середнє за модулем, середнє квадратичне) значень, а також інтегруючі та підсумовуючі прилади. Інтегруючий прилад інтегрує вхідний сигнал за часом або іншою незалежною змінною. Наприклад, лічильник електричної енергії інтегрує миттєву потужність за часом. Підсумовуючим називається прилад, покази якого функціонально пов'язані з сумою двох або декількох величин, що підводяться до нього різними каналами, наприклад ватметр для вимірювання потужності декількох генераторів.

Класифікаційними ознаками вимірювальних приладів служать вимірювана ве­личина або її одиниця, що відображаються в назві вимірювального приладу, наприклад, вологомір або гігрометр, висотомір або альтметр, частотомір або герцметр, вольтметр, мілівольтметр тощо.

Електровимірювальні прилади, що дозволяють вимірювати дві і більше різних за фізичною природою величини, називають комбінованими приладами або мультиметрами, а прилади, що придатні для вимірювань у колах постійного і змінного струмів – універсальними приладами.

**Похибки вимірювань та їх види.** Кількісний вміст властивості, що відображається фізичною величиною, визначається розміром фізичної величини. Ще до вимірювання існує деякий розмір фізичної величини, котрий можна би було оцінити відповідним числовим значенням. Це значення називають істинним.

Істинне значення фізичної величини – це значення, що ідеально відображає властивості даного об'єкта як кількісно, так і якісно. Воно є об'єктивним і не залежить ні від нашої свідомості, ні від технічних засобів, що застосовуються при експери­ментальному його визначенні. При експериментальному визначенні значення фізичної величини завжди будемо отримувати значення величини, відмінне від істинного, бо завжди існує похибка вимірювання.

Абсолютною похибкою вимірювання Δ називають відхилення результату вимі­рювання від істинного значення вимірюваної величини

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image051.gif | (3.1) |

Абсолютна похибка не може служити мірою точності, бо, наприклад Δ = 0,5 мм при *х* = 100 мм є достатньо малою, але при *х* = 1.0 мм – вона дуже велика. Тому вводиться поняття відносної похибки:

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image053.gif | (3.2) |

де *х* – результат вимірювання; *X* – істинне значення вимірюваної величини.

Дійсне значення вимірюваної величини це є її значення отримане експери­ментально, і настільки наближене до істинного, що для даної мети його можна використати замість нього.

Оскільки істинне значення вимірюваної величини невідоме, то практично знаходять наближені значення абсолютної і відносної похибок вимірювання:

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image055.gif |  |

де *хД* – дійсне значення вимірюваної величини (має бути відоме з похибкою, що в кілька разів менша за похибку Δ*Д*).

Зрозуміло, що легше знайти похибку *dном*, яка називається номінальною від­носною похибкою і, якщо вона невелика, то мало відрізняється від *dд*.

Похибка вимірювання зумовлена, переважно, наявністю похибок засобів вимі­рювання і є результуючою похибкою багатьох складових, кожна з яких викликана певною причиною. Розрізняють чотири групи похибок.

*Інструментальні* – похибки, зумовлені недосконалістю засобів вимірювань.

*Похибки установлення* – це похибки, спричинені неправильним установленням засобу вимірювань, впливом відхилень умов виконання вимірювального експерименту від тих, що були при градуюванні засобу вимірювань.

*Похибки методу вимірювання* – спричинені недосконалістю цього методу, не­достатньою обґрунтованістю його теорії, застосуванням наближених формул для спрощення розрахунків тощо.

*Особисті похибки* – виникають переважно при відлічуванні показів. Причини їх ви­никнення: недосконалість зору оператора, втомленість, схильність занижувати або зави­щувати відлік, округляти до парних або непарних цифр тощо.

Похибки трьох перших груп називають об'єктивними, а похибки четвертої групи – суб'єктивними. Об'єктивні похибки можуть виникати на довільній стадії вимірювальних пере­творень, а суб'єктивні – тільки при відчитуванні показів експериментатором.

У реальних умовах усім величинам, зокрема й похибкам, властива певна невизначеність, мірою якої характеризується їх випадковість. Залежно від закономірності проявлення похибки ділять на систематичні, випадкові і грубі.

*Систематичною похибкою* – називається складова похибки вимірювання, яка залишається сталою або закономірно змінюється при повторенні вимірювань однієї і тієї самої величини.

*Випадкова похибка* – це та складова похибки, яка при повторенні вимірювань величини з незмінним розміром змінюється випадково.

*Груба похибка* – це похибка вимірювання, яка істотно перевищує сподівану за даних умов вимірювання похибку.

Чим менші систематичні і випадкові похибки, тим вища точність вимірювання. Тому точність вимірювання є характеристикою їх якості і показує близькість результатів вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

Кількісною оцінкою точності вимірювань є число, обернене до відносної похибки (запропоновано у 1955 р. Соловйовим М.М.)

|  |  |
| --- | --- |
| https://ok-t.ru/helpiksorg/baza4/119424614824.files/image057.gif | (3.3) |

Характеристикою якості вимірювання, яка відображає близькість систематичної похибки до нуля, є правильність вимірювання. Коли систематична похибка відома, то результат можна виправити введенням поправки.

*Поправка* – значення абсолютної похибки, взятої з протилежним знаком. Вона додається до результату вимірювання, щоб вилучити систематичну похибку.