

Засоби вимірювання

Вимірювання – це порівняння вимірюваної величини з відомою, прийнятою за одиницю з використанням технічних пристроїв.

Вимірювання – невід’ємна частина процесу пізнання. “Наука починається с тех пор, как начинают измерять: точная наука немыслима без меры” – ці слова Д.І. Менделєєва особливо актуальні зараз, коли без вимірювань неможлива сучасна господарсько-економічна і суспільницька діяльність людини.

Результатом вимірювання є **розмір** – чисельна величина, що виражена у відповідних одиницях.

Розмір є кількісною характеристикою вимірюваної величини, а якісною характеристикою її є **розмірність**.

Отримання інформації про розмір – це і є вимірювання.

Контроль – окремий випадок вимірювання, при якому встановлюють відповідність значень вимірюваної фізичної величини допустимим граничним значенням.

Технічні вимірювання є органічною частиною всього технологічного процесу. В машинобудуванні вони становлять 15% від загальної трудомісткості виготовлення виробів, в електроніці доля контрольних операцій сягає до 50%.

Стан вимірювальної техніки має значний вплив на економіку виробництва машин та їх якість. Керування якістю передбачає наявність і правильне використання всіх необхідних засобів вимірювання і контролю.

Одиниці вимірювання. Вимірювання в машинобудуванні і ремонті охоплює головним чином геометричні параметри – лінійні, діаметральні та кутові розміри, форму та шорсткість поверхонь

В Україні з 1963 р. введена для переважного застосування Міжнародна система одиниць вимірювання (ГОСТ 9807–61) – Система СІ (SI).

У системі СІ за одиницю довжини прийнято метр – довжина, що дорівнює $1650763,3$ довжини хвилі у вакуумі вимірювання, що відповідає помаранчовій лінії спектра Криптон-86.

За кутову одиницю прийнятий градус, що дорівнює $1/360$ частині кола.

1. Класифікація методів вимірювання

Спеціалізація і кооперування виробництва засновані на принципі взаємозамінності, вимагають забезпечення єдності і необхідної точності вимірів. Єдність вимірів – такий стан вимірів, при якому їхні результати виражені в узаконених одиницях і мають нормовану точність.

Методи вимірювання – це сукупність прийомів, використання принципів і засобів вимірювання.

Абсолютний – це метод вимірювання, при якому по шкалі відразу зчитують абсолютне значення вимірюваної величини, наприклад, вимірювання штангенциркулем, мікрометром.

Відносний – метод, при якому визначають тільки відхилення значення вимірюваної величини від установочної міри чи зразка, а потім обчислюють абсолютне значення вимірюваної величини. Наприклад, вимірювання розміру деталі індикатором зі стійкою після його настроювання по кінцевих мірах довжини.

За визначенням шуканої величини вимірюваного об’єкту розрізняють прямий і непрямий методи.

Прямий – це метод, при якому значення вимірюваної величини встановлюють безпосередньо за показанням приладу, наприклад, вимірювання діаметру деталі.

Непрямий метод – визначення значення шуканої величини за результатами вимірювання інших величин. Наприклад, довжину окружності простіше визначити, вимірявши діаметр і через нього обчислити довжину окружності.

За наявністю контакту з вимірюваною деталлю розрізняють контактний і безконтактний методи.

Контактний метод вимірювання характеризується наявністю безпосереднього дотику вимірювальних поверхонь приладу або інструменту до вимірюваної поверхні деталі.

При **безконтактному методі вимірювання** відсутній контакт вимірювальних поверхонь приладу або інструменту та вимірюваної поверхні деталі.

За кількістю елементів, що перевіряються, розрізняють диференційований та комплексний методи.

Диференційований (поелементний) метод вимірювання характеризується незалежним вимірюванням кожного параметру окремо (наприклад, вимірювання зовнішнього, внутрішнього та середнього діаметру, кроку, правої і лівої половини кута профілю різи за допомогою інструментального мікроскопу, тощо).

Комплексний метод вимірювання дозволяє оцінювати придатність усіх параметрів виробу (наприклад, контроль граничними калібрами, різьбових поверхонь тощо)

2. Класифікація засобів вимірювань

Засіб вимірювань являє собою технічний засіб, призначений для знаходження досвідченим шляхом з оціненої точністю значення заздалегідь обраної вимірюваної фізичної величини.

Засіб вимірювань має нормовані метрологічні характеристики, що відтворює і (або) зберігає одиницю фізичної величини, розмір якої приймається незмінним в межах встановленої похибки і протягом відомого інтервалу часу.

Залежно від ступеня стандартизації виділяють:

1) *стандартизовані засоби вимірювань*, виготовлені відповідно до вимог національного стандарту;

2) *нестандартизованого засоби вимірювань* - унікальні засоби вимірювань, призначені для спеціальної вимірювальної завдання, в стандартизації вимог до якого немає необхідності. Нестандартизованого засоби вимірів не піддаються державних випробувань (півірки), а підлягають метрологічним атестацій.

За ступенем автоматизації кошти вимірів ділять:

1) на **автоматичні засоби вимірювань**, що виробляють в автоматичному режимі всі операції, пов'язані з обробкою результатів вимірювань, їх реєстрацією, передачею даних або виробленням керуючого сигналу;

2) **автоматизовані засоби вимірювань**, що виробляють в автоматичному режимі одну або частину вимірювальних операцій;

3) **неавтоматичні засоби вимірювальної техніки**, які мають пристроїв для автоматичного виконання вимірювань і обробки їх результатів (рулетка, теодоліт і т.д.).

За конструктивним виконанням засоби вимірювання поділяються на: заходи; вимірювальні перетворювачі; вимірювальні прилади; вимірювальні установки; ізмерітельно- інформаційні системи (рис. 1).



Рис. 1. Классификация засобів вимірювань

Міра - засіб вимірювань, призначений для відтворення і (або) зберігання фізичної величини заданого розміру. Міра виступає в якості носія одиниці фізичної величини і служить основою для вимірювань. До заходів відносяться гирі, кінцеві міри довжини, нормальні елементи (заходи ЕРС); кварцовий резонатор (міра частоти електричних коливань). Заходи, які відтворюють фізичну величину одного розміру, називають однозначними. Заходи, які відтворюють фізичну величину різних розмірів, називають багатозначними. Прикладом багатозначної міри є міліметрова лінійка, яка відтворює не тільки міліметрові, але і сантиметрові розміри довжини.

Заходи можуть становити набори або магазини заходів. Набір заходів являє собою комплект однорідних заходів різного розміру, призначених для застосування в різних поєднаннях. Наприклад, набір важків.

Магазин заходів - це набір заходів, в якому заходи конструктивно об'єднані в єдиний пристрій. З'єднання заходів може здійснюватися автоматично або вручну. Прикладом магазину заходів може слугувати магазин електричних опорів.

Вимірювальний перетворювач призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки і (або) зберігання, але не піддається безпосередньому спостереженню людиною (оператором).

Вимірюється (перетворюються) величина, яка надходить на вимірювальний перетворювач, називається вхідною величиною, перетворена величина - вихідний. Співвідношення між вхідний і вихідний величинами, яке може бути представлено формулою, таблицею, графіком, називається **функцією преобра:** $Y = f(X)$ і є для вимірювального перетворювача основний метрологічної характеристикою.

Найпоширенішим засобом вимірювань є **первинний вимірювальний перетворювач**. Наприклад, первинний перетворювач неелектричної величини в електричну. Первинні вимірювальні перетворювачі не змінюють роду фізичної величини, а служать лише для зміни розміру вимірюваної величини (наприклад, подільники або підсилювачі напруги). Часто вимірювальні перетворювачі вбудовуються в вимірювальний прилад.

Частина первинного перетворювача, яка сприймає вимірювальний сигнал на його вході, називається чутливим елементом, або сенсором.

Первинний вимірювальний перетворювач, конструктивно оформлений як відокремлений засіб вимірювань (без відлікового пристрою) з нормованою функцією перетворення, називається **датчиком**. Наприклад, датчик тиску, датчик температури, датчик швидкості і т.д.

Вторинними (проміжними) вимірювальними перетворювачами називаються перетворювачі, розташовані в вимірювальній ланцюга після первинного перетворювача і зазвичай по вимірюваної (перетвореної) величиною однорідні з ним.

За характером перетворення вимірювальні перетворювачі поділяються на аналогові, аналого-цифрові, цифрово-аналогові, цифрові. Цифрові перетворювачі служать для зміни формату цифрового сигналу.

Вимірювальний прилад - засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття людиною (оператором).

Конструктивно вимірювальні прилади являють собою сукупність первинних і проміжних перетворювачів.

Особливе місце займають прилади **прямої дії**. Вони перетворюють вимірювану величину, як правило, без зміни її роду і відображають її на показує пристрої, який в одиницях цієї величини. Наприклад, амперметр, вольтметр і ін.

Більш точними є **прилади порівняння**, які призначені для порівняння вимірюваних величин з величинами, значення яких відомі. Порівняння здійснюється за допомогою компенсаційних ланцюгів приладу. Наприклад, вимірювання маси здійснюється через установку еталонних гир на рівноплечних вагах.

Вимірювальні прилади поділяються на аналогові і цифрові. Відповідно до рівняння вимірювань значення величини дорівнює добутку її числового значення на розмір одиниці вимірювання. Інформація про числовому значенні фізичної величини, яка називається вимірювальною інформацією, в процесі вимірювань передається за допомогою тих чи інших сигналів.

В аналогових приладах встановлюється прямий зв'язок між значенням вимірюваної величини і значенням сигналу фізичної величини. Наприклад, в ртутному термометрі висота стовпчика ртуті відповідає конкретному значенню температури. При цьому, очевидно, використовується не саме числове значення, а аналогова величина.

У цифрових вимірювальних приладах сигнали вимірювальної інформації піддаються дискретизації і передаються для відображення у вигляді окремих короткочасних імпульсів, які є носіями вимірювальної інформації.

За способом запису вимірюваної величини реєструють вимірювальні прилади діляться на самописні і друкують. У самописних приладах запис свідчень представляється в графічному вигляді (наприклад, осцилограф), в друкуючих - в числовій формі.

Вимірювальна установка - сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань, призначена для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для безпосереднього спостереження людиною і розташована в одному місці.

Вимірювальна установка може включати в себе заходи, вимірювальні прилади і перетворювачів, а також різні допоміжні пристрої.

Вимірювально-інформаційна система - сукупність засобів вимірювальної техніки, з'єднаних між собою каналами зв'язку і призначена для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для автоматичної обробки, передачі і (або) використання в автоматичних системах управління.

За **метрологічним призначенням** кошти вимірів підрозділяються на два види: робочі засоби вимірювань і еталони.

Робочі засоби вимірювань (далі РСІ) призначені для вимірювань параметрів і характеристик об'єктів контролю і вимірювань. РСІ є найчисленнішими і широко застосовуваними. Так, до РСІ відносять електролічильник, застосовуваний для виміру електричної енергії; теодоліт - для вимірювання плоских кутів; нутромер - для вимірювання малих довжин (діаметрів отворів); термометр - для вимірювання температури; вимірювальна

система теплоелектростанції, що дозволяє отримати вимірювальну інформацію про ряд фізичних величин в різних енергоблоках.

Еталони призначені для відтворення і зберігання одиниці величини (кратних або часткових значень одиниці) з метою передачі її розміру іншим засобом вимірювання. За загальним призначенням кошти вимірів можуть використовуватися для проведення перевірочних заходів, калібрування або для здійснення технічних вимірювань.

3. Метрологічні характеристики СИ

Оцінка придатності засобів вимірювань для вирішення тих чи інших вимірювальних задач проводиться шляхом розгляду їх **метрологічних характеристик**.

Метрологічна характеристика (МХ) - характеристика однієї з властивостей засоби вимірювань, що впливає на результат вимірювань і його похибка. Метрологічні характеристики дозволяють судити про їх придатність для вимірювань у відомому діапазоні з відомою точністю. Метрологічні характеристики, що встановлюються нормативними документами на засоби вимірювань, називають **нормованими** метрологічними характеристиками, а визначаються експериментально - **дійсними**.

Для кожного типу СИ встановлюються свої метрологічні характеристики. Нижче розглядаються найбільш поширені на практиці метрологічні характеристики.

Діапазон вимірювань СИ - область значень величини, в межах якої нормовані його допустимі межі похибки. Для заходів це їх номінальне значення, для перетворювачів - діапазон перетворення. Розрізняють **нижню і верхню межі вимірювань**, які виражаються значеннями величини, що обмежують діапазон вимірювань знизу і зверху.

Похибка СИ - різниця між показанням засоби вимірювань - X_n і істинним (дійсним) значенням вимірюваної величини - X_D .

Існує поширена класифікація похибок засобів вимірювань. Нижче наводяться приклади їх найбільш часто використовуваних видів.

Абсолютна похибка СИ - похибка засобу вимірювань, виражена в одиницях вимірюваної величини: $Dx = X_n - X_D$. Абсолютна похибка зручна для практичного застосування, тому що дає значення похибки в одиницях вимірюваної величини. Але при її використанні важко порівнювати за точністю прилади з різними діапазонами вимірювань. Ця проблема знімається при використанні відносних похибок.

Якщо абсолютна похибка не змінюється у всьому діапазоні вимірювання, то вона називається адитивною, якщо вона змінюється пропорційно вимірюваній величині (збільшується з її збільшенням), то вона називається мультиплікативною.

Відносна похибка СИ - похибка засобу вимірювань, виражена відношенням абсолютної похибки СИ до результату вимірювань або до дійсного значення вимірюваної величини: $\delta = \Delta X / X_D$. Відносна похибка дає найкраще з усіх видів похибок уявлення про рівень точності вимірювань, який може бути досягнутий при використанні даного засобу вимірювань. Однак вона зазвичай істотно змінюється вздовж шкали приладу, наприклад, збільшується зі зменшенням значення вимірюваної величини. У зв'язку з цим часто використовують наведену похибка.

Приведена похибка СИ - відносна похибка, виражена відношенням абсолютної похибки засобу вимірювань до умовно прийнятого значення величини x_n , яке називають **нормуючим**: $\gamma = \Delta X / x_n$.

Відносні і наведені похибки зазвичай висловлюють або **у відсотках**, або **в відносних одиницях** (частках одиниці).

Для приладів, що показують нормуюче значення встановлюється в залежності від особливостей і характеру шкали. Наведені похибки дозволяють порівнювати за точності засобу вимірювань, що мають різні межі вимірювань, якщо абсолютні похибки кожного з них не залежать від значення вимірюваної величини.

За умовами проведення вимірювань похибки засобів вимірювань поділяються на **основні та додаткові**.

Основна похибка СИ - похибка засобу вимірювань, які у нормальних умовах, тобто в умовах, які визначено в НД не нього як нормальні. Нормальні значення впливають величин

вказуються в стандартах або технічних умовах на засоби вимірювань даного виду у формі номіналів з нормованими відхиленнями. Найбільш типовими нормальними умовами є:

температура $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$;

відносна вологість $(65 \pm 15)\%$;

атмосферний тиск (100 ± 4) кПа або (750 ± 30) мм рт. ст.;

напряга живлення електричної мережі $220 \text{ В} \pm 2\%$ з частотою 50 Гц.

Іноді замість номінальних значень впливають величин вказується нормальна область їх значень. Наприклад, вологість $(30-80)\%$.

Додаткова похибка СІ - складова похибки СІ, що виникає додатково до основної похибки внаслідок відхилення будь-якої з впливають величин від нормального її значення. Розподіл похибок на основні та додаткові обумовлено тим, що властивості засобів вимірювань залежать від зовнішніх умов.

Похибки за своїм походженням поділяються на **систематичні і випадкові**.

Систематична похибка СІ - складова похибки засобу вимірювань, яка приймається за постійну чи закономірно змінюється. Систематичні похибки є в загальному випадку функціями вимірюваної величини і впливають величин (температури, вологості, тиску, напруги живлення і т.п.).

Випадкова похибка СІ - складова похибки засобу вимірювань, що змінюється випадковим чином. Випадкові похибки засобів вимірювань обумовлені випадковими змінами параметрів складових ці СІ елементів і випадковими похибками відліку показань приладів.

При конструюванні приладу його випадкову похибку намагаються зробити незначною порівняно з іншими похибками. У добре сконструйованого і виконаного приладу випадкова похибка незначна. Однак при збільшенні чутливості засобів вимірювань зазвичай спостерігається збільшення випадкової похибки. Тоді при повторних вимірах однієї і тієї ж величини в одних і тих же умовах результати будуть різними. У такому разі доводиться вдаватися багаторазовим вимірюванням і до статистичної обробки отриманих результатів. Як правило, випадкову похибку приладів знижується до такого рівня, що проводити багаторазові вимірювань немає необхідності.

Стабільність СІ - якісна характеристика засобу вимірювань, що відображає незмінність в часі його метрологічних характеристик.

Градувальна характеристика СІ - залежність між значеннями величин на вході і виході засобу вимірювань, отримана експериментально. Може бути виражена у вигляді формули, графіка або таблиці.