

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірвальної техніки

Лекція 12

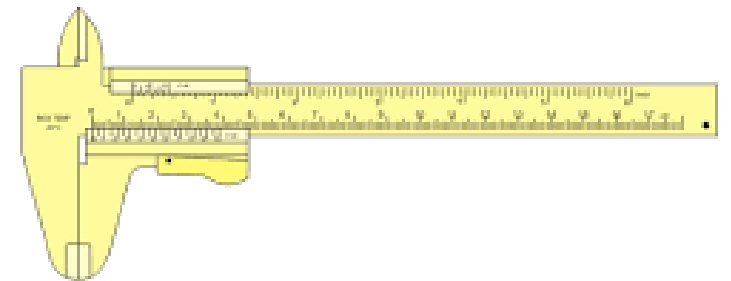
Тема: Систематичні похибки



Лекція 12

Тема: Систематичні похибки

1. Похибки метода вимірювань або теоретичної похибки.
2. Суб'єктивні систематичні похибки.
3. Характер появи систематичних похибок.
4. Виключення систематичних похибок.



1. Похибки метода вимірювань або теоретичної похибки

Якщо підходити строго, то в багатьох методах вимірювання можна, але виявити теоретичні похибки, що є наслідками тих чи інших припущень або спрощень, застосування емпіричних формул і функціональних залежностей. В деяких випадках вплив таких припущень виявляється незначним, тобто набагато менше, ніж допустимі похибки вимірювань; в інших воно перевищує ці похибки.

Прикладом похибок розглянутого виду є похибки методу вимірювання електричного опору при допомогою амперметра та вольтметра (рис. 12.1)

Якщо опір r_x , визначати по формулі закону Ома (12.1) де u -падіння напруги, виміряний вольтметром V ; I_a - сила струму; виміряна амперметром A , то в обох випадках будуть допущені теоретичні похибки

На рис.12.1, а сила струму I_A , виміряна амперметром, буде більше сили струму в опорі r_x значення сили струму I_v в вольтметрі, включеному паралельно опору. Опір r_x , обчислення за допомогою наведеної формули, виявиться менше дійсного.

На рис. 12.1, б напруга, виміряна вольтметром V , виявиться більше падіння напруги u_r в опорі r_x на значення u_a (падіння напруги на опорі амперметра A). Опір, обчислене за формулою закону Ома, виявиться більше опору r_x па значення r_a (опір амперметра). Поправки в обох випадках можна легко обчислити, якщо знати опір вольтметра і амперметра.

Поправки можна і не вносити, якщо вони значно менше похибки вимірювання опору r_x , наприклад, якщо в першому випадку опір вольтметра значно більше r_x », а в другому - значно менше r_x ».

$$r_x = \frac{u}{I_A} \quad 12.1$$

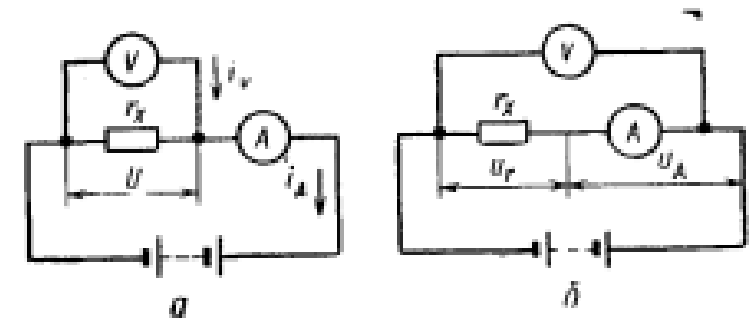


Рис. 11. Схема вимірювання електричного опору при використанні амперметра та вольтметра

Рис.12.1. Схема вимірювання опору за допомогою амперметра та вольтметра

Іншим прикладом є наступний. Гири володіють тією або іншим обсягом в залежності від матеріалу, з якого вони виготовлені. Сила, з якою гири тисне па шальку терезів, менше істинної ваги за вагу, що витісняє обсяг повітря (по 'Акова Лрхімеда). Виникаюча при цьому похибка невелика, що при точних зважуваннях з нею доводиться рахуватися. При зважуванні предметів з матеріалу, щільність якого дорівнює щільності матеріалу тягарців, зазначена похибка не виникає.

Похибки методу притаманні всім тим методам вимірювань, які засновані на даних дослідів, можливо численних, але не маючих строго теоретичного обґрунтування. В цих випадках зв'язок вимірюваного явища або властивості з принципом дії засобу вимірювань не має суворої, теоретично доказаної залежності.

Прикладом таких вимірювань є вимірювання твердості різних речовин і, зокрема, металів. методи визначення твердості металів є найбільш розробленими. Тим не менш кожен із застосовуваних методів вимірює твердість в своїх умовних одиницях і переклад цих одиниць з однієї шкали в іншу проводиться наближено. Пояснюється це тим, що для вимірювання твердості використовуються різні явища, імовірно характеризують твердість.

Так, один з методів заснований на вимірюванні глибини занурення у випробуваний метал наконечника певної форми (шарик або призма) під дією певної сили, що додається з відомою швидкістю (метод Роквелла).

В основу інших методів визначення твердості належить вимір розмірів відбитка, залишеного наконечником, також при певних умовах (методи Брінелля і Віккерса)

Ще один приклад - вимір вологості зерна та інших сільськогосподарських продуктів, а також ряду органічних і неорганічних матеріалів. Важливість цих вимірювань з кожним роком зростає, і їм приділяється дуже велика увага, Одним з вельми старих методів визначення вологості є метод зважування вологого, а потім висушеного речовини. Цей метод до теперішнього часу вважається найбільш надійним, проте незручний і в ряді випадків непридатний внаслідок тривалості процесу вимірювання і відносно високих вимог, пропонованих до апаратури, сушильних шаф, ваг і так далі.

До похибок методу можна віднести також вимір об'єму тіл, форма яких приймається геометрично правильно; шляхом вимірювання розмірів в одному або в недостатньому числі місць, наприклад, вимірювання об'єму приміщення шляхом вимірювання довжини, ширини і висоти тільки в трьох напрямках. Для точного ж визначення обсягу варто було б визначити довжину н ширину приміщення по кожній стіні, вгорі і внизу, виміряти висоту по кутах і в середині і, нарешті, кути між стінами, При точному вимірюванні об'єму циліндричних тіл або резерву: рів не можна обмежуватися виміром діаметра і висоти тільки в одному місці. Ці два приклади ілюструють можливість появи істотних похибок при необґрунтованому спрощенні.

2. Суб'єктивні систематичні похибки

Ці похибки, як правило, є наслідком індивідуальних властивостей людини, обумовлених особливостями його організму або вкоріненими неправильними навичками.

Значення суб'єктивної систематичної похибки наочно показав цікавий досвід французького вченого Ніколо. У проведенні досвіду брали участь досвідчений механік, молодий інженер, тільки но закінчивши вищий навчальний заклад, а й початківець слюсар. Кожен з них повинен був на штангенциркулем з ноніусом ціною поділки 0,02 мм встановити задане значення. Правильність установки штангенциркуля кожен раз визначали за допомогою більш точних приладів. Кожен дослід повторювали 100 разів.

Результати виявилися дещо несподіваними. Середнє арифметичне значення результатів вимірювань, проведених досвідченим механіком, дещо відрізнялося від дійсного, водночас розбіжності між окремими результатами були дуже невеликими. У молодого інженера воно було ближче до дійсного, але розкид значень виявився більшим. У недосвідченого слюсара середнє арифметичне значення співпало з дійсним, однак розкид був дуже великим.

Результати, отримані досвідченим механіком, здавалося б, повинні заслуговувати найбільшій довіри, але в проведених ним вимірах при дуже хорошій відтворюваності результатів виявилась *постійна стійка похибка, що стала ймовірніше всього наслідком невірних навиків. Таку похибку неможливо виявити ні шляхом багаторазових повторень вимірювання, ні шляхом обчислення серед арифметичного. В цьому і заключається особлива небезпека систематичних похибок.*

У виникненні суб'єктивних систематичних похибок велику роль відіграє також швидкість реакції на отриманий сигнал. У різних осіб вона різна, але у кожного протягом більш або менш тривалого часу досить стійка. Так, час з моменту подачі світлового сигналу до моменту відповідного руху людини у різних осіб коливається від 0,15 до 0,225 с. Швидкість реакції людини на звуковий сигнал становить 0,082- 0,195 с.

Відомий астроном Бессель порівняв точність визначення часу по проходженню зірок, виконаного різними астрономами ним самим. Він встановив, що між його даними і даними, отриманими іншими дослідниками, були дуже великі розбіжності, причому досить постійні. Бессель прийшов до висновку, що причина цих систематичних похибок полягала в різних швидкостях реакції кожного з спостерігачів.



3.Характер появи систематичних похибок

За характером прояву систематичні похибки поділяють на *постійні і змінні*. Змінні похибки у свою чергу ділять на **прогресивні, періодичні та такі, що змінюються по складному закону**.

Постійні систематичні похибки. Постійні систематичні похибки характеризуються тим, що протягом всього часу вимірювань їх значення і знак залишаються незмінними.

Той факт, що такі похибки зберігаються протягом достатньо довгого часу незмінними, є дуже істотним.

До постійних похибок відносяться похибки більшості заходів. Наприклад, тягарців, кінцевих мір довжини, катушок і магазинів опору і так далі, а також похибкою градування шкал вимірювальних приладів, відношення плечей електровимірювальних мостів та ряд інших, вже розглянутих нами похибок.

Прогресивні похибки. Прогресивними називають по-похибки, які в процесі вимірювань поступово зменшуються або зростають, Однією з причин їх виникнення може бути поступове падіння напруги джерела струму, що живить вимірювальну ланцюг, Як відомо, акумулятори та батареї по час роботи розряджаються спочатку швидко, потім протягом тривалого періоду вельми повільно, але рівномірно п в кінці процес знову прискорюється і супроводжується сильним зниженням напруги.

Періодичні похибки. Періодичними називають похибки, періодично змінюють значення і знак. В якості прикладу можна навести засоби вимірювання із кругової шкалою, стрілка яких при вимірюванні здійснює декілька обернень (секундоміри, індикатори годинникового типу). Періодична похибка в показаннях таких пристроїв виникає в тих випадках, коли вісь обертання стрілки не збігається з центром кола шкали.

Періодична похибка в показаннях таких пристроїв виникає в тих випадках, коли вісь обертання стрілки не збігається з центром кола шкали. На рис. 12.2 показана схема виникнення похибок від ексцентриситету.

Вісь обертання стрілки зміщена по відношенню до центру декілька вниз при вертикальному пом положенні стрілки (у напрямку зсуву) це зміщення похибки не викликає, при положенні ж стрілки перпендикулярно до цього напрямку (на рисунку - по горизонталі) зміщення її осі призводить до найбільшої похибки. Як показано на рисунку, при повороті вправо на чверть обороту стрілка перейде позначку, відповідну $\frac{1}{4}$ обороту, і прилад буде показувати значення більше дійсного, тобто похибка буде позитивною. При повороті на $\frac{3}{4}$ обороту стрілка не дійде до відповідної позначки, і похибка буде змінюватися від 0 до максимуму, стаючи то позитивною, то негативною. Це рулет повторюватися при кожному оберті стрілки.

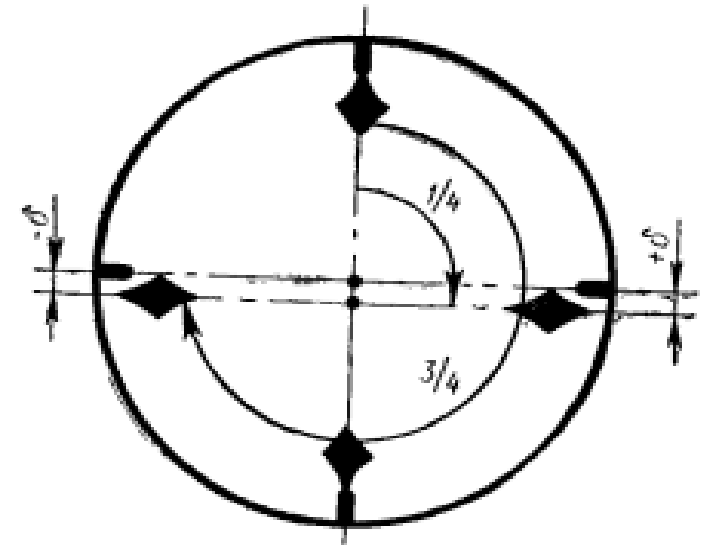


Рисунок 12.2. Схема виникнення похибок від ексцентриситету

Похибки, що змінюються по складному закону, можуть бути виражені у вигляді кривої або у вигляді формули. Одним з прикладів є похибки електричних лічильників, залежність яких від навантаження виражається кривою (рис. 12.3).

Іншим прикладом можуть бути похибки, що виникають при зміні величини, закономірно впливаючи на вимірювану величину. Ця закономірність являється методом спільних вимірів. В якості прикладу наведемо похибку міри довжини, що виникає при відхиленні температури від нормальної, тобто тієї, при якій була визначена довжина міри. Ці похибки виражаються наступною формулою (12.2).

α , β – коефіцієнти, що визначенні методом сумісних вимірювань;

t_n – нормальна температура;

Δt – відхилення температури від нормальної.

$$M_f = (\alpha \Delta t + \beta \Delta t^2) I_n, \quad (12.2)$$

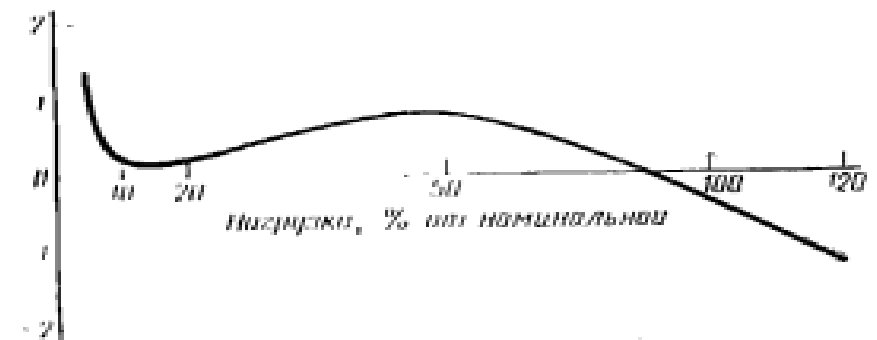


Рисунок 12.3. Крива похибок лічильника в залежностей від споживчої потужності

4. Виключення систематичних похибок

Вище підкреслювалося, що систематичні похибки визивають зміщення результату вимірювань найбільшу небезпеку в цьому відношенні представляють систематичні похибки, залишилися невиявленими, про існування яких навіть не підозрюють. Саме систематичні, а не випадкові похибки бували неодноразової причиною помилкових наукових висновків, встановлення помилкових фізичних законів, незадовільних конструкцій засобів вимірювань і браку продукції у виробництві.

Способи виключення та обліку систематичних похибок можна розділити на чотири основні групи:

1. Усунення джерел похибок до початку вимірювань (профілактика похибок).
2. Виключення похибок в процесі вимірювання (експериментальне виключення похибок) способами заміщення, компенсації похибки за знаком, протиставлення, симетричних спостережень.
3. Внесення відомих поправок в результат вимірювання (виключення похибок обчисленням).
4. Оцінка кордонів систематичних похибок, якщо їх не можна виключити.

Усунення джерел похибок до початку вимірювання

Цей спосіб виключення систематичних похибок являється найбільш раціональним, так як він повністю або частково звільняє від необхідності усувати похибки в процесі вимірювання або обчислювати результат з урахуванням поправок. Іншими словами, усунення джерел похибок істотно спрощує і прискорює процес вимірювання.

Під усуненням джерела похибок слід розуміти як безпосереднє його видалення (наприклад, видалення джерел тепла), так і захист вимірювальної апаратури об'єкта вимірювання від впливу цих джерел.

Джерела не інструментальних похибок, властиві даному примірнику засоби вимірів, можуть бути усунені до початку проведення вимірювань шляхом регулювання або ремонту, необхідність в яких встановлюється при перевірці. Таким чином, можна зробити висновок, що до початку вимірювань (одиначних, серії або протягом певного періоду) необхідно повірити засоби вимірювань. Питання про доцільність ремонту або регулювання вирішується за результатами вимірювань.

Джерела похибок, що виникли в результаті невірної установки, у багатьох випадках можна усунути до початку вимірювань.

Джерела похибок:

- Усунення впливу температури;
- Усунення впливу магнітних полів;
- Усунення шкідливих вібрацій і струсів;
- Усунення інших видів шкідливих впливів.



Виключення систематичних похибок в процесі вимірювання

Виключення систематичних похибок в процесі вимірюванні є ефективним шляхом усунення ряду шкідливих впливів. При цьому немає необхідності застосовувати будь-які спеціальні установки і пристосування. Як правило, це ті чи інші прийоми вимірювань, що дозволяють не тільки виключити похибка ость, що з'явилася наслідком впливу, а й оцінити його ступінь.

Виключення таким шляхом піддаються в основному інструментальні похибки, похибки від установки і похибки від зовнішніх впливів.

Деякі постійні похибки суб'єктивного характеру можна виключити в процесі вимірювання тільки шляхом проведення повторних вимірів декількома людьми.

Характерним для розглянутих нижче способів усунення похибок в процесі вимірювання є необхідність проведення повторних вимірів, тому вони можуть бути застосовані в основному при вимірах стабільних параметрів і явищ.

Спосіб заміщення. Цей спосіб є одним з найбільш поширених способів виключення похибок. Він заключається в тому, що вимірюваний об'єкт замінюють відомою мірою, що знаходиться при цьому в тих же умовах, в яких знаходився він сам. Розглянемо кілька найбільш типових прикладів примінення способу заміщення.

Спосіб компенсації похибки за знаком. Цей спосіб виключення похибки полягає в тому, що вимір проводять двічі так, щоб відома за своєю природою, але невідома за розміром похибка входила в результати з протилежними знаками. Похибка виключається при обчисленні середнього значення.

Спосіб протиставлення. Цей спосіб має велике схожість зі способом компенсації похибки по знаку. Він заключається в тому, що вимірювання проводять два рази, причому так, щоб причина, що викликає похибку, при першому вимірі показала протилежну дію на результат другого. Як приклад може служити зважування на рівноплечих вагах (спосіб, запропонований Гаусом для виключення похибки від залишкової нерівноплечесті).

Спосіб симетричних спостережень. Спосіб симетричних спостережень застосовується для виключення прогресивної похибки, що є лінійною функцією часу (або іншої величини). Така функція може бути зображена у вигляді графіка

По осі абсцис відкладено час, по осі ординат - прогресивна похибка. Залежно від властивостей вимірювальних приладів, прогресивна похибка може рости з моменту першого виміру, Тоді вона з'явиться при другому, третьому і всіх наступних вимірах. Однак зміщення величини, сприймається приладом, може початися ще до першого виміру. Тоді результат першого виміру буде вже містити прогресивну похибка.

Спосіб симетричних спостережень полягає в тому, що вимірювання проводять послідовно через однакові інтервали часу. При обробці використовують властивість результатів, будь-яких двох спостережень, симетричних щодо середньої точки інтервалу спостереження. Ця властивість полягає в тому, що середнє значення прогресивної похибки результатів будь пари симетричних – спостережень одно похибки, відповідній середній точці інтервалу.

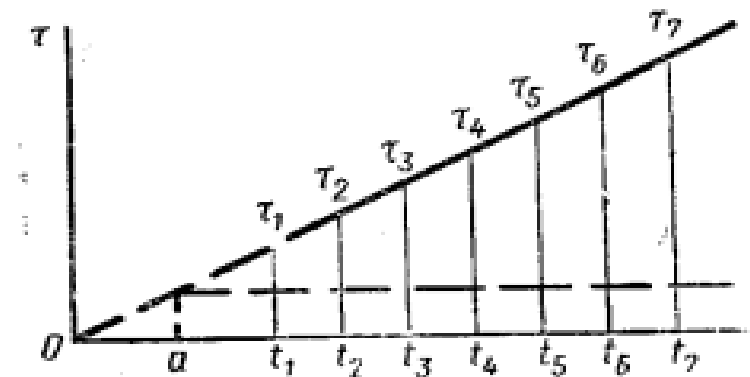


Рис. 14. Графік прогресивної похибки

Рисунок 12.4. Графік прогресивної похибки

Внесення відомих поправок в результат виміру

Результат вимірювання виправляють шляхом обчислення. Найбільш поширеним випадком внесення поправок є алгебраїчне складання результату вимірювання і поправки (з урахуванням її знаку). Поправка по числовим значенням дорівнює систематичній похибці і протилежна їй за знаком.

В інших випадках похибка виключають шляхом множення результату вимірювання на поправочний множник, який може бути трохи більше або менше одиниці. можна розраховувати на високу точність виправленого результату тільки при умови, що поправка мала в порівнянні виміряним значенням або поправочний множник близький до одиниці.

Припустимо, що поправочний множник містить одиницю та два десяткових знака, перший з яких нуль. Одиниця в першому десятковому знаку (1,1) відповідає похибці 10%, а такі великі похибки зустрічаються не часто. Отже, поправочний множник частіше буде 1,01; 1,02; 1,03 і т. д. Щоб помножити результат вимірювання на таке число, слід помноживши його на число сотих часток, перенести кому на два знака вліво і додати до отриманого значення. Наприклад, показ засобів вимірів дорівнює 85, поправочний множник 1,02. Дві сотих від 85 рівні 1,70. Результат вимірювання з урахуванням поправки буде $85 + 1,7 = 86,7$.

Цим прийомом слід користуватися і тоді, коли поправочний множник менше одиниці. Наприклад, поправочний множник $0,96 = 1 - 0,04$. Щоб помножити на показання приладу, слід від нього відняти чотири сотих долі:

$$85 \cdot 0,96 = 85 (1 - 0,04) = 85 - 85 \cdot 0,04 = 85 - 3,4 = 81,6.$$

Показ коштів вимірів нерідко доводиться множити на множник, званий перекладним (2; 2,5; 3; 5; 10; 20 і т.д.)

Об'єднувати поправочний множник з перекладним не слід, так як це ускладнює обчислення результату вимірювання.

Оцінка кордонів систематичних похибок

У ряді випадків виключення систематичних похибок виявляється практично неможливим. Перш за все це відноситься до методів вимірювань, систематичні похибки які недостатньо вивчені. "Крім того, є велика група засобів вимірювальної техніки, систематичні похибки які вивчені, піддаються вимірюванню і визначенню, однак не можуть бути використані для внесення поправок в результати вимірювань. Це - група інтегруючих засобів вимірювань, найчастіше які носять найменування лічильників. Вірніше, поправки в свідчення лічильників можна вносити тільки в деяких, дуже обмежених випадках, не характерних для умов їх застосування і призначення.

Сказане про електричному лічильнику можна віднести і до інших інтегруючих засобів вимірів та вимірювань, здійснюваних з їх допомогою.

Підкреслимо ще раз, що при розробці нового методу вимірювань або нових засобів вимірювань необхідно виявляти та вивчити всі можливі систематичні похибки. Нехтування цим правилом нерідко призводить до того, що нові розробки та винаходи в галузі метрології та вимірювальної техніки на практиці себе не виправдовують.