

## 1 Характеристика похибок

При багаторазовому вимірюванні якої-небудь величини легко переконатися, що результат вимірювання увесь час змінюється, тобто в кожному випадку спостерігається відхилення результату вимірювання від середнього значення вимірювальної величини. Рісно того, проведення вимірювань тієї ж величини в інший відрізок часу дає не тільки інші відхилення від середнього значення, але і інше середнє значення вимірювальної величини. Це пояснюється тим, що вимірювальна фізична величина досліджуваного тіла, так само як і використовувана міра, протягом часу вимірювань перетерплює зміни. Ці зміни викликані впливом зовнішніх факторів: зміною температури навколишнього середовища, атмосферного тиску, вологості повітря, вібрації приміщення, електростатичними зарядами, що блукають, струмами і так далі. Отже, “точне” визначення вимірювальної величини, тобто без появи яких-небудь відхилень при багаторазових вимірюваннях, неможливо.

Відхилення від середнього результату вимірювань ми називаємо помилками або похибками вимірювань, і в підсумку вимірювань указуємо не тільки середню величину, але і можливе відхилення від цієї величини. Наприклад, довжина тіла дорівнює  $1,2 \pm 0,3$  м.

На практиці при постановці вимірювального завдання потрібно не просто визначити значення вимірюваної величини, але і визначити її з максимально припустимою похибкою. Максимально припустима похибка визначається технологією подальших практичних дій з матеріальним об'єктом. Таким чином, визначення похибки результату вимірювання є не самоціллю, а вимогою практики.

**Похибка** – кількісна характеристика невизначеності, або неоднозначності, результату вимірювання. Її оцінюють, виходячи із всієї інформації, накопиченої при підготовці і виконанні вимірювань. Цю інформацію обробляють для спільного одночасного визначення остаточного результату вимірювання і його похибок. Остаточний результат не можна розцінювати як “істинне значення” вимірюваної фізичної величини, тому що в цьому нема рації через наявність похибки.

З вищесказаного зрозуміло, що чим більша кількість однакових вимірювань ми проводимо в одиницю часу, тим більше осереднюємо вплив зовнішніх факторів на вимірювальну величину, тим менше відхилення від середнього значення вимірювальної величини, тобто менше похибка вимірювання.

Основними джерелами похибок вимірювань можуть виступати.

1. Похибка інструмента. Вимірювальний прилад неможливо виготовити абсолютно точно.

2. Похибка методу вимірювань. Наприклад, при зважуванні тіла ми не враховуємо силу, що виштовхує, повітря, а вона по різному впливає на тіла, що мають різну густину.

3. Похибки, пов'язані з фізіологією спостерігача. Наприклад, відраховуючи показання по стрілочному приладу, спостерігач дивиться правим оком, а прилад розташований прямо перед ним.

4. Похибки, пов'язані з особливостями об'єкта і залежністю вимірювальної величини від контрольованих навколишніх умов. Наприклад, ми вимірюємо діаметр деталі на токарському верстаті, а деталь у результаті обробки нагрілася і має температуру вище кімнатної. Або, наприклад, сильно шорсткувата.

5. Похибки, пов'язані із впливом неконтрольованих зовнішніх умов. Наприклад, при зважуванні тіла на аналітичних вагах на точність показань можуть впливати потоки повітря, електричні поля, порошини, що сідають на тіло, що зважується, і гирі. При кожному вимірюванні повинна бути відома ступінь точності його результату, оцінювана похибкою вимірювання. Тільки тоді отримане значення тієї або іншої величини має практичний сенс. Похибка вимірювання може бути виражена у вигляді *абсолютної* або *відносної величини* і буває позитивною або негативною.

Оскільки не існує абсолютно точних приладів і методів вимірювань, то результат вимірювання  $x_{вим}$  якоюсь мірою відрізняється від істинного значення  $x$ .

## 2 Класифікація похибок

Похибки вимірювань залежно від їхнього характеру діляться на *систематичні, грубі, випадкові і динамічні*.

**Систематичними похибками** називаються такі похибки, які при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини залишаються постійними або змінюються за певним законом. Вплив цих похибок на результати вимірювань у більшості випадків може бути враховано.

Систематичні похибки можна розділити на кілька груп.

1. Похибки, природа яких відома і які можуть бути досить точно визначені. У цьому випадку в результати вимірювань можна внести виправлення і тим самим виключити похибку або істотно її зменшити.

2. Похибки відомого походження, але невідомої величини.

3. Похибки, про існування яких ми не підозрюємо, хоча їхня величина може бути значною. Такого типу похибки самі небезпечні, особливо при складних вимірюваннях і в рисо вивчених областях дослідження.

4. Похибки вимірювальних приладів у значній мірі також систематичними.

Систематичні похибки можуть бути настільки великі, що зовсім спотворюють результати вимірювань. Тому облік і виключення систематичних похибок становлять важливу частину вимірювальної роботи. Необхідно дуже ретельно продумувати методику вимірювань і підбирати прилади, проводити контрольні виміри, оцінювати роль факторів, що заважають, і т.д. Один зі способів переконатися у відсутності систематичних похибок - це повторити вимірювання іншим методом і в інших умовах. Збіг отриманих результатів служить деякою гарантією їхньої правильності.

Систематичні похибки звичайно складаються з *основної і додаткової похибок*.

**Основна (інструментальна) похибка** залежить від призначення, устрою і якості виготовлення вимірювального приладу. Кожний, навіть новий, прилад має основну похибку, що із часом звичайно зростає за рахунок появи залишкових деформацій пружин, зношування тертьових частин та ін.

**Додаткові похибки**, що виникають через неправильну установку приладу, впливу несприятливих зовнішніх умов (вібрації, високої або низької температури і вологості навколишнього повітря, відхилення напруги і частоти джерела живлення та ін.), застосування недосконалого методу вимірювання і впливу індивідуальних особливостей спостерігача можуть становити значну величину.

Вплив на результати вимірювань систематичних похибок враховується введенням до показань приладів виправлень, обумовлених розрахунковим або експериментальним шляхом. Виключення становлять лише похибки, що виникають з вини спостерігача, які обліку не піддаються.

**Грубі похибки** пов'язані з факторами, які свідомо і істотно спотворюють результат вимірювання, наприклад раптовим зниженням напруги електричного живлення приладу. Сюди ж ставляться так називані *промахи* — похибки, пов'язані з помилковими діями спостерігача, — неправильне визначення показань приладу, невірний їхній запис і т.п. Результати вимірювань, що містять грубі похибки і промахи, відкидаються як явно неточні.

**Випадкова похибка** - похибка вимірювання, викликана невідомими причинами або відомими причинами випадкового прояву. Випадкові похибки є свідомо невизначеними по своїй величині і природі. При повторних вимірюваннях вони не залишаються постійними, тому що виникають у підсумку спільного впливу на процес вимірювання багатьох причин, кожна з яких проявляє себе по-різному і незалежно одне від одного. Наприклад, похибки через тертя і вібрацію при зважуванні, похибки через флуктуації температури і густини повітря і т.д.

Випадкові похибки піддаються строгому математичному опису, що дозволяє робити висновки про якість вимірювань, у яких вони присутні. Похибки інших типів більш складні для аналізу, їх виявляють і аналізують тільки в умовах конкретного експерименту. Для одного вимірювання випадкові похибки не піддаються обліку, однак для ряду повторних вимірювань однієї і тієї ж постійної величини, проведених з однаковою старанністю, їхній вплив на отриманий результат після виключення систематичних і грубих похибок можна оцінити з деякою імовірністю.

Теорія випадкових похибок, заснована на методах теорії ймовірностей і математичної статистики, дозволяє при проведенні деякого числа повторних вимірювань уточнити кінцевий результат. Внаслідок цього теорія випадкових похибок широко використовується для оцінки точності вимірювань і надійності роботи вимірювальних приладів.

### **Інструментальна похибка**

Інструментальна похибка вимірювання визначається похибкою застосовуваних засобів вимірювання, тобто вимірювальних приладів і мір. Інструментальна похибка, називана іноді

*приладовою похибкою*, обумовлена багатьма причинами, пов'язаними з конструкцією приладу, якістю його виготовлення і застосовуваних матеріалів, старанністю регулювання, умовами застосування і т.д. Інструментальна похибка має як систематичну, так і випадкову складові. Співвідношення між ними може бути неоднаковим для різних приладів (указується в паспорті приладу), однак частіше переважає систематична похибка. Інструментальну похибку можна встановити при порівнянні показань даного приладу з показаннями більш точного. У цьому випадку можна одержати таблицю або графік виправлень, використання яких підвищує точність приладу.

Для багатьох засобів вимірювання широкого застосування виробники вказують, що інструментальна похибка із досить великою ймовірністю ( $P \geq 0,95$ ) не перевищує деякого значення  $\Delta_{instr}$ , називаного межею похибки, яка допускається. Наприклад, вимірювальна лінійка довжиною 1000 мм має  $\Delta_{instr} = \pm 0,20$  мм, тобто виготовлювач не гарантує, що штрихи нанесені з більшою точністю.

Зв'язок між ціною розподілу шкали і  $\Delta_{instr}$  строго не встановлюється, тому судити про точність приладу на підставі ціни розподілу шкали можна тільки дуже орієнтовно.

Вимірювальні прилади служать, як відомо, для вимірювання змінних в часі величин і являють собою матеріальні системи, що володіють різними інерційними властивостями (механічними, тепловими і ін.). Інерційність приладів при змінному режимі роботи приводить до запізнювання їхніх показань, тобто до відставання показань від зміни вимірюваної величини, що викликає динамічні **похибки**.

Величина запізнювання показань залежить в основному від принципу дії і устрою вимірювального приладу. На неї впливають інерція рухливої частини приладу, теплоємність і теплопровідність термочутливого елемента і способу його установки, довжина і діаметр сполучних трубок та ін.

Залежність показань приладу від зміни вимірюваної величини в несталому режимі (перехідному процесі) називається **динамічною характеристикою** вимірювального приладу. Вид динамічної характеристики визначається характером зміни, що відбувається з вимірювальною величиною і типом вимірювального приладу.

Похибка кожного конкретного приладу є систематичною, але її значення звичайно невідомо, а виходить, її неможливо виключити введенням у результат вимірювання відповідного виправлення.

Звичайно ціна найменшого розподілу шкали стрілочного приладу погоджена з похибкою самого приладу. Якщо клас точності використовуваного приладу невідомий, за похибку  $\sigma_{прил}$  завжди приймають половину ціни його найменшого розподілу. Зрозуміло, що при зчитуванні показань зі шкали недоцільно намагатися визначити частки розподілу, тому що результат вимірювання від цього не стане точніше. Межа припустимої похибки цифрового вимірювального приладу розраховують за паспортним даними, отримуючи формулу для розрахунку похибки саме даного приладу.

### **3 Класи точності приладів вимірювання**

Дуже часто на шкалі вимірювального приладу, на передній панелі або в технічному документі (паспорті) зазначений його клас точності. Клас точності - це число, знаючи яке можна визначити похибку вимірювання цього приладу. Приймається вираження класу точності за допомогою відносних чисел і абсолютних значень похибки. У випадку якщо клас точності виражається відносним числом, те це число вибирається з ряду  $[1; 1,5; (1,6); 2; 2,5; (3); 4; 5; 6] \times 10^n$ , де показник ступеня  $n$  може бути дорівнює 1; 0; -1; -2 і т.д. Величини, зазначені в круглих дужках, для знову розроблювальних засобів вимірювання застосовувати не

рекомендується. Наприклад: на шкалі приладу просто зазначене число з наведеного ряду, наприклад 0,2. Це значить, що наведена похибка дорівнює  $\gamma = \pm 0,2 \%$ .

**Клас точності** - найбільше значення наведеної похибки вимірювального приладу.

**Наведеною похибкою** вимірювального приладу називають відношення абсолютної похибки вимірювального приладу  $\Delta_c$  до нормованого значення  $X_m$ , вираженого у відсотках.

Завершенням обробки даних багаторазового прямого вимірювання при заданій довірчій імовірності є два числа: середнє значення обмірюваної величини, і його похибка (напівширина довірчого інтервалу). Ці числа є остаточний результат багаторазового вимірювання і повинні бути спільно записані в стандартній формі, що містить тільки достовірні, тобто надійно обмірювані, цифри цих чисел.