

Л. №3 СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ВИМІРЮВАНЬ

План викладу матеріалу

- 3.1. Виміри, їх види і класифікація
- 3.2. Інтервальна оцінка за допомогою довірчої вірогідності
- 3.3. Встановлення мінімальної кількості вимірів
- 3.4. Проведення експерименту
- 3.5. Методи графічного зображення результатів вимірів

3.1. Виміри, їх види і класифікація

Вимірювання є основною складовою частиною будь-якого експерименту. Від ретельності вимірювань і подальших обчислень залежать результати експерименту. Тому кожен експериментатор повинен знати закономірності вимірювальних процесів: уміти правильно виміряти величини, що вивчаються; оцінити похибки при вимірюваннях; правильно, з необхідною точністю обчислити значення величин та їх мінімальну кількість; визначити найкращі умови вимірювань, при яких помилки будуть найменшими, і виробити загальний аналіз результатів вимірювань.

Вимірювання – це процес знаходження якої-небудь фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів, це пізнавальний процес порівняння величини чого-небудь з відомою величиною, прийнятою за одиницю (еталон).

Теорією і практикою вимірювань займається спеціальна наука – **метрологія**.

Вимірювання бувають статичними, коли вимірювана величина не змінюється, і динамічними, коли вимірювана величина змінюється. Крім того, вимірювання поділяються на прямі і непрямі.

При прямих вимірюваннях шукану величину встановлюють безпосередньо з досліду, при непрямих – функціонально від інших величин, визначених прямими вимірюваннями $b = f(a)$, де b знайдене за допомогою непрямих вимірювань, а – за допомогою прямих вимірювань.

Розрізняють три класи вимірювань.

Особливо точні – еталонні вимірювання з максимально можливою точністю. Цей клас рідко застосовується в експериментальних дослідженнях машинобудівного виробництва. **Високоточні** – вимірювання, похибка яких не повинна перевищувати заданих значень. Цей клас вимірювань використовують при деяких найвідповідальніших експериментах, а також для контрольно-перевірних вимірювань приладів. **Технічні** це вимірювання, в яких похибка визначається особливостями засобів вимірювання.

Розрізняють також абсолютні вимірювання і відносні. **Абсолютні** – це прямі вимірювання в одиницях вимірюваної величини, наприклад, абсолютна вологість зразка w у відсотках.

Відносні – вимірювання, представлені відношенням вимірюваної величини до однойменної величини, що приймається за порівнянну. Наприклад, відносна вологість зразка w/w_t , де w_t - абсолютна вологість зразка межі текучості. Результати вимірювань оцінюють різними показниками.

Похибка вимірювання – це алгебраїчна різниця між дійсним значенням вимірюваної величини x_q і одержаним при вимірюванні x_i . Вимірювання x_q - це таке значення вимірюваної

величини, яке явно точніше, ніж одержуване при вимірюванні. З деяким допущенням x_q можна вважати істинним або точним значенням величини

$$\varepsilon = x_q - x_i.$$

Значення ε називають **абсолютною похибкою вимірювання**. **Відносна похибка** вимірювання, %:

$$\delta = \pm \frac{\varepsilon}{x_q} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Точність вимірювання – це ступінь наближення вимірювання до дійсного значення величини.

Достовірність вимірювання показує ступінь довіри до результатів вимірювання, тобто вірогідність відхилень вимірювання від дійсних значень.

Щоб підвищити точність і достовірність вимірювань, необхідно зменшити похибку. Похибки при вимірюваннях виникають внаслідок ряду причин:

- недосконалості методів і засобів вимірювань;
- недостатньо ретельного проведення досліду;
- впливів різних зовнішніх факторів у процесі досліду;
- суб'єктивних особливостей експериментатора та ін. Ці причини є результатом дії багатьох факторів.

Похибки класифікують на систематичні і випадкові.

Систематичні - це такі похибки вимірювань, які при повторних експериментах залишаються постійними (або змінюються за відомим законом). Якщо чисельні значення цих похибок відомі, їх можна врахувати під час повторних вимірювань.

Випадковими називають похибки, що виникають випадково при повторному вимірюванні. Ці вимірювання не можуть бути виключені як систематичні. Проте за наявності багатократних повторів за допомогою статистичних методів можна виключити випадкові вимірювання, що відхиляються.

Різновидом випадкових похибок є **грубі похибки або промахи**, що істотно перевищують систематичні або випадкові похибки. Промахи і грубі похибки спричиненні, як правило, помилками експериментатора. Їх легко знайти. У розрахунок ці похибки не беруться і при обчисленні x_q ними нехтують. Таким чином, можна записати

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2, \quad (3.2)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - систематичні і випадкові похибки вимірювань.

У процесі експерименту важко відділити систематичні похибки від випадкових. Проте при ретельному і багатократному експерименті все ж таки можна виключити систематичні похибки (помилки). Основна задача вимірювань полягає у тому, щоб одержати по можливості результати вимірювань з меншими похибками. Нижче розглянуті основні принципи і методи усунення систематичних і випадкових помилок.

Систематичні похибки можна поділити на п'ять груп.

Перша – інструментальні похибки, що виникають внаслідок порушень засобів вимірювань додаткових люфтів або тертя, неточності градуйованої шкали, зносу і старіння вузлів і деталей засобів вимірювання і т.п.

Друга – похибки, які виникають через неправильну установку засобів вимірювань.

Третя – похибки, що виникають в результаті дії зовнішнього середовища: високих температур повітря, магнітних і електричних полів, атмосферного тиску і вологості повітря, вібрації і коливань від рухомих частин та ін.

Четверта – суб'єктивні похибки, виникають внаслідок індивідуальних фізіологічних, психофізіологічних, антропологічних властивостей людини.

П'ята – похибки методу. Вони з'являються в результаті необґрунтованого методу вимірювань (при різних спрощеннях схем або функціональних залежностей, відсутності теоретичних обґрунтувань методу вимірювання, малій кількості повторюваностей та ін.).

Систематичні похибки можуть бути постійними або змінними, збільшуються або зменшуються у процесі експерименту. Їх обов'язково потрібно виключати. Відомі випадки, коли через наявність систематичних похибок робилися неправильні наукові висновки з експерименту. Систематичні помилки (похибки) можуть бути усунені наступними методами.

Часто від систематичних похибок всіх груп можна позбавитися до початку експерименту шляхом регулювання або ремонту засобів вимірювання, ретельної перевірки установки засобів вимірювань, усунення небажаних дій зовнішнього середовища. Особлива увага повинна бути надана обґрунтуванню теорії і методики вимірювань. Одним з ефективних методів усунення систематичних помилок 1-3 груп є виключення їх у процесі експерименту. Основним принципом цього виключення є повторне вимірювання величин.

Застосовують також метод заміщення. При вимірюванні x замість досліджуваного об'єкта встановлюють той, що еталонує, наперед заміряний з високою точністю. Різниця у вимірюваннях дозволить знайти похибку вимірювального засобу.

Якщо все ж таки не можна встановити значення систематичних похибок, то обмежуються оцінкою їх меж.

Випадкові похибки. При проведенні з однаковою ретельністю тих або інших експериментів результати вимірювань однієї і тієї ж величини (навіть з урахуванням відомого закону систематичних похибок), як правило, відрізняються між собою. Як наголошувалося вище, це свідчить про наявність випадкових похибок. Кожен експериментатор, аналізуючи результати вимірювань, повинен уміти правильно оцінити випадкові похибки, що неминуче виникають. До випадкових помилок відносять також, як вже відомо, промахи і грубі похибки.

Найтипівішими причинами промахів є помилки при спостереженнях: неправильний відлік за шкалою вимірювальних приладів, описки (помилки) при записі результатів вимірювань, різні маніпуляції з приладами або їх окремими вузлами (перестановка, заміна блоків, перевірка та ін.). Грубі похибки виникають внаслідок несправності приладів, а також умов експерименту, що раптово змінилися.

Аналіз випадкових похибок ґрунтується на **теорії випадкових помилок**. Ця теорія дає можливість з певною гарантією обчислити дійсне значення і оцінити можливі помилки, за якими роблять висновок про дійсне значення шуканої величини.

В основу теорії випадкових помилок покладені припущення про те, що при великому числі вимірювань випадкові похибки однакової величини, але різного знаку трапляються однаково часто; великі похибки трапляються рідше, ніж малі, або вірогідність появи похибки зменшується із зростанням її величини, при нескінченно великому числі вимірювань істинне значення вимірюваної величини дорівнює середньоарифметичному значенню всіх результатів вимірювань: поява того або іншого результату вимірювання як випадкової події описується нормальним законом розподілу.

Розрізняють генеральну і вибірку сукупність вимірювань. Під генеральною сукупністю мають на увазі всю безліч можливих значень вимірювань x_i або можливих значень похибок Δx_i . Для вибіркової сукупності вимірювань n обмежено і у кожному конкретному випадку строго визначається. Звичайно вважають, що якщо $n > 30$, то середнє значення даної сукупності вимірювань \bar{x} достатньо наближається до його істинного значення.

Теорія випадкових помилок дозволяє розв'язати дві основні задачі: оцінити точність і надійність вимірювання при даній кількості вимірів; визначити мінімальну кількість вимірів, що гарантує необхідну (задану) точність і надійність вимірювання. Разом з цим виникає необхідність виключити грубі помилки ряду, визначити достовірність одержаних даних та ін. Розглянемо основні задачі.

3.2. Інтервальна оцінка за допомогою довірчої вірогідності

Для великої вибірки і нормального закону розподілу загальними оцінними характеристиками вимірювання є дисперсія σ і коефіцієнт варіації K_v :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad K_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (3.3)$$

Дисперсія характеризує однорідність вимірювання. Чим вище σ , тим більше розкид вимірювань. Коефіцієнт варіації характеризує мінливість. Чим вище K_v , тим більше мінливість вимірювань щодо середніх значень. K_v оцінює також розкид при оцінці декількох вибірок.

Довірчим називається інтервал значень x_i , в який потрапляє істинне значення x_D вимірюваної величини із заданою вірогідністю. Довірчою вірогідністю (достовірністю) вимірювання називається вірогідність P_d того, що істинне значення x_D вимірюваної величини потрапляє в даний довірчий інтервал. Ця величина визначається в частках одиниці або у відсотках. Необхідно встановити вірогідність того, що x_D потрапить в зону $a \leq x_D \leq b$, де a і b – крайні точки встановлення довірчої вірогідності. Довірча вірогідність P_d описується виразом

$$P_d = P(a < m(x) < b) = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{b - \bar{x}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a - \bar{x}}{\sigma}\right) \right], \quad (3.4)$$

де $\Phi(t)$ - функція Лапласа, аргументом якої є відношення μ до середньоквадратичного σ , тобто

$$t = \mu/\sigma, \quad (3.5)$$

$\mu = b - \bar{x}$, $\mu = -(a - \bar{x})$, t - гарантійний коефіцієнт;

$m(x)$ – істинне значення вимірюваної величини.

Функція $\Phi(t)$ - це інтегральна функція Лапласа:

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (3.6)$$

Чисельні значення $\Phi(t)$ наведені в табл. 3.1.

У цій задачі можливий інший варіант. На основі певних даних встановлена довірча вірогідність P_d . Дуже часто її беруть такою, що дорівнює 0,9011; 0,9545; 0,9973. Необхідно встановити точність вимірювань, тобто довірчий інтервал 2μ .

Оскільки $P_d = \Phi\left(\frac{\mu}{\sigma}\right)$, то за табл. 2.1 зворотною інтерполяцією можна визначити

половину довірчого інтервалу

$$\mu = \sigma \operatorname{arg} T(P_d) = \sigma t, \quad (3.7)$$

де $\operatorname{arg} \Phi(P_d)$ - аргумент функції Лапласа або при $n < 10$ - Стюдента (табл. 2.2). Довірчий інтервал характеризує точність вимірювання даної вибірки, а довірна вірогідність - достовірність вимірювання.

Таблиця 3.1

**Чисельні значення інтегральної
функції Лапласа**

t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)
0,00	0,0000	0,75	0,5467	1,50	0,8664
0,05	0,0399	0,80	0,5763	1,55	0,8789
0,10	0,0797	0,85	0,6047	1,60	0,8904
0,15	0,1192	0,90	0,6319	1,65	0,9011
0,20	0,1585	0,95	0,6579	1,70	0,9109
0,25	0,1974	1,00	0,6827	1,75	0,9199
0,30	0,2357	1,05	0,7063	1,80	0,9281
0,30	0,2357	1,05	0,7063	1,80	0,9281
0,35	0,2737	1,10	0,7287	1,85	0,9357
0,40	0,3108	1,15	0,7419	1,90	0,9426
0,45	0,3473	1,20	0,7699	1,95	0,9488
0,50	0,3829	1,25	0,7887	2,00	0,9545
0,55	0,4177	1,30	0,8064	2,25	0,9756
0,60	0,4515	1,35	0,8230	2,50	0,9876
0,65	0,4843	1,40	0,8385	3,00	0,9973
0,70	0,5161	1,45	0,8529	4,00	0,9999

Приклад.

Виконано 30 вимірювань міцності покриття труб хімічної апаратури.

При цьому середній модуль пружності покриття $E_c = 170$ МПа. Обчислене значення середньоквадратичного відхилення виявилось $\sigma = 3,1$ МПа. Визначити точність і достовірність експерименту.

Необхідну точність вимірювань визначимо для різних рівнів довірчої вірогідності, взявши відповідно значення $\operatorname{arg} \Phi(t)$ за табл. 2.1: $P_d = 0,9011; 0,9545; 0,9973$;

$$\mu = \pm 3,1 \cdot 1,65 = 5,1; \pm 3,1 \cdot 2,0 = 6,2; \pm 3,1 \cdot 3 = 9,3 \text{ МПа.}$$

Отже, для даного засобу і методу довірчий інтервал зростає приблизно у два рази, якщо P_d збільшити тільки на 10%. Необхідно визначити достовірність вимірювань для встановленого

довірчого інтервалу, наприклад, $\mu = \pm 7$ МПа. За формулою (2.5) $t = \frac{\mu}{\sigma} = 7/3,1 = 2,26$. За табл.

3.1 для $t = 2,26$ визначаємо $P_d = 0,9876$. Це означає, що в заданий довірчий інтервал із 100 вимірювань не потрапляють тільки три.

Значення $1-\Phi(t)$ називають рівнем значущості. З нього випливає, що при нормальному законі розподілу похибка, що перевищує довірчий інтервал, траплятиметься один раз з n вимірювань:

$$n_n = \frac{P_d}{1 - P_d} \quad (3.8)$$

або інакше доводиться нехтувати одним з n_n вимірювань.

Приклад. Використовуючи дані наведеного вище прикладу, обчислити кількість вимірювань, з яких одне вимірювання перевищує довірчий інтервал.

За формулою (3.8) маємо для $P_d = 0,9$; $n = 0,9/(1 - 0,9) = 9$ вимірювань. Для P_d , що дорівнює 0,95 і 0,9973, відповідно 19 і 367 вимірювань.

3.3. Встановлення мінімальної кількості вимірювань

Усі експериментальні дослідження в техніці, як вже наголошувалося, базуються на вимірюваннях. Для проведення дослідів з необхідною точністю і достовірністю необхідно знати ту кількість вимірювань, при яких експериментатор упевнений в позитивному результаті. Проте надмірно велика кількість вимірювань вимагає значних витрат часу і ресурсів. У зв'язку з цим однією з першочергових задач при статистичних методах оцінки є встановлення мінімального, але достатнього для даних умов числа вимірювань.

Задача зводиться до встановлення мінімального об'єму вибірки (числа вимірювань) N_{min} при заданих значеннях, довірчого інтервалу 2μ і довірчої вірогідності. При виконанні вимірювань необхідно знати їх точність Δ , яку звичайно характеризують σ_0 – середньоарифметичне значення середньоквадратичного відхилення σ :

$$\sigma_0 = \sigma / \sqrt{n}; \quad \Delta = \sigma_0 / \bar{x}. \quad (3.9)$$

Значення σ_0 часто називають середньою помилкою. Довірчий інтервал помилки вимірювання Δ визначається аналогічно, як і для вимірювань $\mu = t\sigma_0$. За допомогою t легко визначити довірчу вірогідність помилки вимірювання з табл. 3.1.

У дослідженнях часто за заданою точністю Δ і довірчою вірогідністю вимірювання визначають мінімальну кількість вимірювань, що гарантують необхідні значення Δ і $\Phi(t)$.

Аналогічно до рівняння (3.7) з урахуванням (3.9) запишемо

$$\mu = \sigma_{\text{arg}} \Phi(P_d) = \sigma_0 / \sqrt{nt}. \quad (3.10)$$

Звідси, вважаючи $N_{min} = n$, маємо

$$N_{\min} = \frac{\sigma^2 t^2}{\sigma_0^2} = \frac{K_v^2 t^2}{\Delta^2}. \quad (3.11)$$

Тут K_v — коефіцієнт варіації (мінливості), %; Δ - точність вимірювань, %. Для обчислення N_{min} може бути взята наступна послідовність.

1. Проводять попередній експеримент з кількістю вимірювань n , яка складає залежно від трудомісткості дослідів від 20 до 50.

2. Обчислюють середньоквадратичне відхилення σ за рівнянням (3.3).

3. Відповідно до поставлених завдань експерименту встановлюють необхідну точність вимірювань μ , Δ , яка повинна бути не меншою, ніж точність приладу.

4. Встановлюють нормоване відхилення t , значення якого звичайно задають; воно залежить також від точності методу. Наприклад, при великій точності вимірювань можна взяти $t = 3,0$, при малій – $t = 2,0$. Так, вимірюючи зносостійкість матеріалів, можна взяти $t = 2$, густину, міцність, розміри тіл – $t = 2,5-3,0$.

5. 3 (3.10) визначають N_{min} . Надалі у процесі експерименту число вимірювань не повинне бути менше N_{min} .

Приклад.

При прийманні споруд термічного цеху комісія як один з параметрів заміряє їх ширину. Згідно з тимчасовою інструкцією вимагається виконувати 25 вимірювань; відхилення параметра, що допускається, + 0,1 м. Необхідно визначити, з якою достовірністю комісія оцінює даний параметр. Заздалегідь обчислене значення $\sigma = 0,4$ м.

Згідно з інструкцією $\Delta = 0,1$ м. З рівняння (3.11) можна записати $t = \sqrt{n} \cdot \frac{\Delta}{\sigma} = \sqrt{25} \cdot \frac{0,1}{0,4} = 1,25$. Відповідно до табл. 3.1 довірна вірогідність для $t = 1,25$ Р_д = 0,79.

Це низька вірогідність. Похибка, що перевищує довірчий інтервал $2\sigma = 0,8$ м, згідно з виразом (3.8) траплятиметься один раз з $0,79/(1 - 0,79) = 3,76$, тобто з 4 вимірювань. Це неприпустимо. Обчислимо мінімальну кількість вимірювань з довірчою вірогідністю Р_д, що дорівнює 0,9 і 0,95. За формулою (3.11) маємо $N_{min} = 0,42 \cdot 1,652/0,12 = 43$ вимірювання при Р_д = 0,90 і 64 вимірювання при Р_д = 0,95.

Оцінки вимірювань з допомогою σ і σ_0 за наведеними методами справедливі при $n > 30$. Для знаходження меж довірчого інтервалу при малих значеннях застосовують метод, запропонований у 1908 р. англійським математиком В.С.Госсетом (псевдонім Стьюдент). Криві розподілу Стьюдента у разі $n \rightarrow \infty$ (практично при $n > 20$) переходять у криві нормального розподілу (рис. 3.1).

Для малої вибірки довірчий інтервал

$$\mu_{ст} = \sigma_0 \alpha_{ст}, \quad (3.12)$$

де $\alpha_{ст}$ – коефіцієнт Стьюдента, що береться за табл. 3.2 залежно від значення довірчої вірогідності Ф_{ст}.

Знаючи $\mu_{ст}$, можна обчислити дійсне значення величини, що вивчається, для малої вибірки

$$x_{д} = \bar{x} \pm \mu_{ст} \quad (3.13)$$

Можливе інше поставлення задачі. За n відомими вимірюваннями малої вибірки необхідно визначити довірчу вірогідність Р_д за умови, що похибка середнього значення не вийде за межі $\pm \mu_{ст}$. Задачу вирішують у такій послідовності. Обчислюють середнє значення \bar{x} , σ_0 і $\alpha_{ст} = \frac{\mu_{ст}}{\sigma_0}$. За допомогою величини $\alpha_{ст}$, відомого n і табл. 3.2 визначають довірчу

вірогідність.

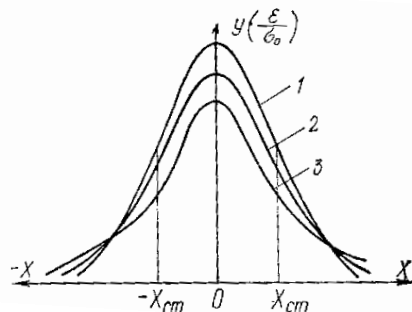


Рис. 3.1 – Криві розподілу Стьюдента для різних значень n : 1 – $n \rightarrow \infty$; 2 – $n = 10$; 3 – $n = 2$

Коефіцієнт Стьюдента [2]

n	Значення $\sigma_{ст}$ при P_d					
	0,80	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
2	3,080	6,31	12,71	63,70	127,30	637,20
3	1,886	2,92	4,30	9,92	14,10	31,60
4	1,638	2,35	3,18	5,84	7,50	12,94
5	1,533	2,13	2,77	4,60	5,60	8,61
6	1,476	2,02	2,57	4,03	4,77	6,86
7	1,440	1,94	2,45	3,71	4,32	5,96
8	1,415	1,90	2,36	2,50	4,03	5,40
9	1,397	1,86	2,31	3,36	3,83	5,04
10	1,383	1,83	2,26	3,25	3,69	4,78
12	1,363	1,80	2,20	3,11	3,50	4,49
14	1,350	1,77	2,16	3,01	3,37	4,22
16	1,341	1,75	2,13	2,95	3,29	4,07
18	1,333	1,74	2,11	2,90	3,22	3,96
20	1,328	1,73	2,09	2,86	3,17	3,88
30	1,316	1,70	2,04	2,75	3,20	3,65
40	1,306	1,68	2,02	2,70	3,12	3,55
50	1,298	1,68	2,01	2,68	3,09	3,50
60	1,290	1,67	2,00	2,66	3,06	3,46
∞	1,282	1,64	1,96	2,58	2,81	3,29

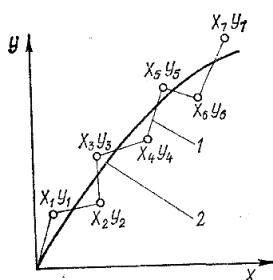
3.4. Методи графічного зображення результатів вимірювань

При обробці результатів вимірювань і спостережень широко використовують методи графічного зображення. Результати вимірювань, подані у табличній формі, не дозволяють достатньо наочно характеризувати закономірності процесів, що вивчаються. Графічне зображення дає найнаочніше уявлення про результати експериментів, дозволяє краще зрозуміти фізичну суть досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності змінних величин, що вивчаються, встановити наявність максимуму і мінімуму функції.

Після обробки результатів вимірювань і оцінки ступеня точності необхідно їх звести у таблиці для аналізу. Дані таких таблиць обробляють графічними методами.

Для графічного зображення результатів вимірювань (спостережень), як правило, застосовують систему прямокутних координат. Якщо аналізується графічним методом функція $y = f(x)$, то наносять у системі прямокутних координат значення $x_1y_1, x_2y_2, \dots, x_ny_n$ (рис.3.2).

Перш ніж будувати графік, необхідно знати хід (течію) досліджуваного явища. Як правило, якісні закономірності і форма графіка експериментатору орієнтовно відомі з теоретичних досліджень.

Рисунок 3.2 – Графічне зображення функції $y = f(x)$:

1 – крива за наслідками безпосередніх вимірювань; 2 – плавна крива

Точки на графіку необхідно сполучати плавною лінією так, щоб вона, по можливості, ближче проходила до всіх експериментальних точок. Якщо з'єднати точки прямими відрізками, то одержимо ламану криву. Вона характеризує зміну функції за даними експерименту. Як правило, функції мають плавний характер. Тому при графічному зображенні результатів вимірювань слід проводити між точками плавні криві. Різке викривлення графіка пояснюється похибками вимірювань. Якби експеримент повторили із застосуванням засобів вимірювань вищої точності, то одержали б менше похибок, а ламана крива більше б відповідала плавній кривій.

Проте можуть бути винятки. Так, іноді досліджуються явища, для яких в певних інтервалах спостерігається швидка стрибкоподібна зміна однієї з координат (рис. 3.3). У таких випадках необхідно особливо ретельно сполучати точки кривої. Загальне «усереднювання» всіх точок плавної кривої може призвести до того, що стрибок функції підміняється похибками вимірювань.

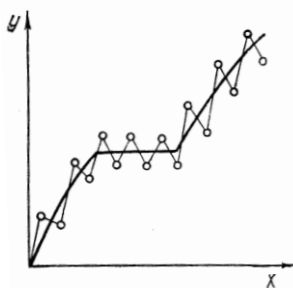


Рисунок 3.3 – Графічне зображення функції $y = f(x)$ за наявності стрибка

Іноді при побудові графіка одна – дві точки різко віддаляються від кривої. Спочатку потрібно проаналізувати фізичну суть явища і якщо немає підстави вважати наявність стрибка функції, то таке різке відхилення можна пояснити грубою помилкою або промахом. Це може виникнути тоді, коли дані вимірювань заздалегідь не досліджувалися на наявність грубих помилок вимірювань. У таких випадках необхідно повторити вимірювання в діапазоні різкого відхилення точки. Якщо колишнє вимірювання виявилось помилковим, то на графік наносять нову точку. Якщо ж повторні вимірювання дадуть колишнє значення, необхідно до цього інтервалу кривої віднестися дуже уважно і особливо ретельно проаналізувати фізичну суть явища. Часто при графічному зображенні результатів експериментів доводиться мати справу з трьома змінними: $b = f(x, y, z)$.

У цьому випадку застосовують метод розділення змінних. Одній з величин z в межах інтервалу вимірювань $z_1 - z_n$ задають декілька послідовних значень. Для двох змінних x і y (при $z_i = \text{const}$) будують графіки $y = f_i(x)$. У результаті на одному графіку отримують сім'ю кривих $y = f_i(x)$ для різних значень z (рис. 3.4).

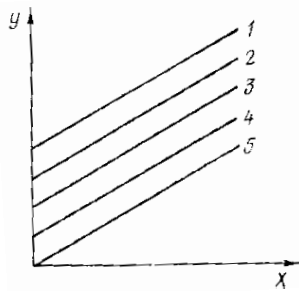


Рисунок 3.4 - Графічне зображення функції $b = f(x, y, z)$:

1 - z_5 ; 2 - z_4 ; 3 - z_3 ; 4 - z_2 ; 5 - z_1

Якщо необхідно графічно зобразити функцію з чотирма і більше змінними $a = f(b, x, y, z)$, то будують серію графіків типу попередніх (рис. 3.4), але кожний з них при $b_1, \dots, b_n = \text{const}$, або приймають з N змінних $N - 1$ постійними і будують графіки: спочатку $N - 1 = f_1(x)$, далі $N - 2 = f_2(x)$, $N - 3 = f_3(x)$ і т.д. Таким чином, можна простежити зміну будь-якої змінної величини у функції від інших при постійних значеннях інших. Цей метод графічного аналізу вимагає ретельності, великої уваги до результатів вимірювань. Проте він у більшості випадків є найпростішим і наочнішим.

3.5. Проведення експерименту

Проведення експерименту є найважливішим і найбільш трудомістким етапом. Експериментальні роботи необхідно проводити відповідно до затвердженого плану-програми, і особливо методики експерименту. Розпочинаючи експеримент, остаточно уточнюють методику його проведення, послідовність випробувань. Іноді при цьому використовують метод рандомізації, який полягає у тому, що досліди проводять у випадковій послідовності, визначуваній за допомогою переліку випадкових чисел (табл.3.3). Цим способом виключають систематичні помилки, які можуть виникнути при суб'єктивному призначенні послідовності випробувань.

Таблиця 3.3

Перелік випадкових чисел

56	66	25	32	38	64	70	26	27	67	77	40	04	34	63	98
88	40	52	92	29	82	69	34	50	21	74	00	91	27	52	98
87	63	88	23	62	51	07	69	59	02	89	49	14	98	53	41
32	25	21	15	08	82	34	57	57	35	22	03	33	48	84	37
44	61	88	23	13	01	59	47	64	04	99	59	96	20	30	87
94	44	08	67	79	41	61	41	15	60	1	88	83	24	82	24
13	24	40	09	00	65	46	38	61	12	90	62	41	У	59	85
78	27	84	05	99	85	75	67	80	05	57	05	71	70	21	31
42	39	30	02	34	99	46	68	45	15	19	74	15	50	17	44
04	52	43	96	38	13	83	80	72	34	20	84	56	19	49	59
82	85	77	30	16	69	32	46	46	30	84	20	68	72	98	54
38	48	84	88	24	55	46	48	60	06	90	08	83	83	98	40
91	19	05	68	22	58	04	63	21	16	23	38	25	43	32	98
54	81	87	21	31	40	46	17	62	63	99	71	14	12	64	51
65	43	75	12	91	20	36	25	57	92	33	65	95	48	75	00
49	98	71	31	80	59	57	32	43	07	85	06	64	75	27	29
03	98	68	89	39	71	87	32	14	99	42	10	25	37	30	08
56	04	21	34	92	89	81	52	15	12	84	11	12	66	87	47
48	09	36	95	36	20	82	53	32	89	92	68	50	88	17	37
23	97	10	96	57	74	07	95	26	44	93	08	43	30	41	86
43	97	55	45	98	35	69	45	96	80	46	26	39	96	33	60
40	05	08	50	79	89	58	19	86	48	27	98	99	24	08	94
66	97	10	69	02	25	36	43	71	76	00	67	56	12	69	07
15	62	38	72	92	03	76	09	30	75	77	80	04	24	59	67

Припустимо, необхідно визначити послідовність проведення п'яти дослідів. Пронумеруємо їх: 1, 2, 3, 4, 5. Поставимо їм у відповідність будь-які п'ять послідовних чисел, узятих в будь-якому рядку або стовпці випадкових чисел, наприклад, другий рядок: 88, 40 52, 92, 29, тобто 1-88; 2-40; 3-52; 4-92; 5-29. Розмістивши випадкові цифри у порядку зростання (убування), одержимо послідовність проведення дослідів: 5, 2, 3, 1, 4 або 4, 1, 3, 2, 5.

При експериментальному дослідженні складних процесів часто виникають випадки, коли очікуваний результат одержують пізніше, ніж передбачається планом. Тому, проводячи науковий експеримент, необхідно проявити терпіння, витримку, наполегливість і довести експеримент до отримання результатів.

Особливе значення має сумлінність при проведенні експериментальних робіт. Експериментатор повинен фіксувати всі характеристики досліджуваного процесу, не допускаючи суб'єктивного впливу на результати вимірювань. Іноді дослідники, прагнучи швидше одержати потрібний результат, що підтверджує гіпотезу, вибирають тільки ті експериментальні дані, які добре узгоджуються з теоретичними припущеннями. У цьому випадку іноді упускаються цінні дані про досліджуваний процес, які згодом з труднощами можуть бути відновлені.

У процесі проведення експериментальних робіт недопустима недбалість, яка призводить до великих спотворень, помилок. У зв'язку з цим експерименти повторюють, що збільшує тривалість дослідження.

Обов'язковою вимогою проведення експерименту є ведення журналу. Форма журналу може бути довільною, але повинна найкращим чином відповідати досліджуваному процесу з максимальною фіксацією усіх факторів. У журналі записують тему НДР і тему експерименту, прізвище виконавця, час і місце проведення експерименту, характеристику навколишнього середовища, дані про об'єкт експерименту і засобу вимірювання, результати спостережень, а також інші дані для оцінки одержуваних результатів.

Журнал потрібно заповнювати акуратно, без будь-яких виправлень. При отриманні в одному статистичному ряду результатів, різко відмінних від сусідніх вимірювань, виконавець повинен записати всі дані без спотворень і вказати обставини, супутні вказаному вимірюванню. Це дозволить встановити причини спотворень і кваліфікувати вимірювання як відповідні реальному ходу процесу або як грубий промах. Якщо у процесі вимірювання необхідні прості розрахунки, то вони повинні бути виконані бездоганно.

При проведенні експерименту виконавець повинен безперервно стежити за засобами вимірювань: стійкістю апарата і установок, правильністю їх показань, характеристиками навколишнього середовища, не допускати сторонніх осіб в робочу зону. Виконавець зобов'язаний систематично проводити робочу перевірку засобів вимірювань. У разі, якщо робоча перевірка не забезпечує необхідної точності приладів, експеримент необхідно припинити, а засоби вимірювання передати на капітальну перевірку. Головну увагу експериментатор повинен надавати контролю якості експериментальних робіт, тобто забезпечувати надійність роботи засобів вимірювань, відтворюваність вимірювань, дотримуватися необхідної точності і достовірності одержуваних результатів.

Одночасно з виконанням вимірювань експериментатор повинен проводити попередню обробку результатів та їх аналіз. Тут особливо повинні виявлятися його творчі здібності. Такий аналіз дозволяє контролювати досліджуваний процес, коректувати експеримент, покращувати методику і підвищувати ефективність експерименту.

Важливі при цьому консультації з колегами по роботі і особливо з науковим керівником. У процесі експериментальних робіт необхідно дотримуватися вимог інструкцій з екології, техніки безпеки, пожежної профілактики. Виконавець повинен уміти організувати робоче місце, керуючись принципами наукової організації праці.

Особливо ретельно необхідно дотримуватися вказаних вимог при виконанні виробничих експериментів. Внаслідок великих обсягів робіт і значної їх трудомісткості помилки, допущені у процесі експерименту, можуть істотно збільшити тривалість досліджень і зменшити їх точність.

Спочатку результати вимірювань зводять у таблиці за варійованими характеристиками для різних питань, що вивчаються. Дуже ретельно вивчають сумнівні цифри, різко відмінні від статистичного ряду спостережень, від середніх значень. При аналізі цифр необхідно встановити точність, з якою потрібно проводити обробку досліджуваних даних. Точність обробки не повинна бути вищою від точності вимірювань.

Особливе місце належить аналізу експерименту. Це завершальна частина, на основі якої роблять висновок про підтвердження гіпотези наукового дослідження. Аналіз експерименту – це творча частина дослідження. Іноді за цифрами складно чітко уявити фізичну суть процесу. Тому потрібне особливо ретельне зіставлення фактів, причин, що обумовлюють хід того або іншого процесу і встановлення адекватності гіпотези та експерименту.