

## РОЗДІЛ III ОСНОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Мета і завдання експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження відіграють дуже важливу роль у процесі пізнання людиною навколишнього світу.

Слово “експеримент” (від лат. *experimentum* – проба, дослід) означає науково поставлений дослід, проведений у цілком певних умовах, що дає змогу стежити за перебігом відповідного процесу та відтворювати його при повторенні цих умов.

Видатний експериментатор Кюв’є казав: ”Спостерігач слухає природу, а експериментатор запитує і примушує її розкритися”.

Роль експерименту в науці й техніці виключно важлива. Досить згадати створення лазерної техніки, досягнення космічної фізики, дослідження термоядерного синтезу, прогрес фізики елементарних частинок, унікальні експерименти для перевірки положень теорії відносності в земних умовах, вимірювання швидкості світла з точністю до 1 м/с чи відстані від точки на Землі до відбивача, розміщеного на Місяці і т. ін.

Важко переоцінити роль експериментів у будь-якій галузі науки чи техніки. А коли йдеться про екологію чи хімію, то там вони часто є єдиним способом отримання потрібної інформації.

**Експеримент** – особливий вид діяльності дослідника, здійснюваної ним з метою наукового пізнання (відкриття) певних характеристик об’єктів або систем чи пов’язаних з ними закономірностей. При цьому дослідник діє на об’єкт з допомогою спеціальних методів, інструментів або приладів і може плановірно змінювати і варіювати різні умови, потрібні йому для одержання остаточного результату. Спостерігач – розглядає зовні явище (форму). Експериментатор – заглиблюється в середину і розглядає суть явища.

У наш час без експерименту практично неможлива жодна розробка технічного пристрою чи системи.

Експерименти поділяють на натурні та модельні, активні і пасивні.

У процесі **натурного експерименту** досліджується реальне явище чи процес. Експерименти, як правило, мають на меті уточнити характеристики обладнання, явища, процесу чи реального об’єкта, визначити надійність його роботи в непередбачуваних або аварійних режимах, перевірити правильність теоретичних розрахунків тощо. При цьому враховується весь обсяг факторів, що діють на досліджуваний об’єкт.

Натурний експеримент потребує значних фінансових витрат. Часто його проведення пов’язане з певним ризиком і тому до нього вдаються тільки в найнеобхідніших випадках.

**Модельний експеримент** здійснюється на модельних установках і дає змогу найповніше вивчити об’єкт і пов’язані з ним процеси. При цьо-

му, на відміну від натурального експерименту, тут є змога проводити дослідження в "чистому" вигляді, тобто ізолювати досліджуване явище від другорядних факторів, що затіняють його перебіг. Результати модельних експериментів служать основою для створення математичних моделей і виконання технічних розрахунків.

Модельний експеримент дає змогу багатократно відтворювати хід досліджуваного процесу в строго фіксованих умовах, що під час натурального експерименту здебільшого зробити дуже важко.

Теорія постановки та проведення експерименту докладно розглядається в спеціальній літературі.

Розрізняють два принципи постановки експерименту. **Пасивний експеримент**, у якому розташування точок у факторному просторі ведеться на інтуїтивному рівні. Експериментальні точки розташовуються лише на деяких перетинах простору, що вибрані безсистемно. Це не лише ускладнює обчислювальну процедуру, а й практичне використання математичних моделей. **Активний експеримент** полягає у тому, що розташування точок у міжфакторному просторі алгоритмізовано. Це забезпечує підвищення точності моделі в цілому, скорочення в остаточному підсумку кількості дослідів у 5-10 разів у порівнянні з традиційними методами.

### 3.2 Основні означення і терміни експериментальних досліджень

Як обладнання для експерименту використовують:

- вимірювальні прилади (ВП);
- вимірювальну апаратуру (ВА);
- зразок для експерименту (ЗЕ).

**Вимірювальні прилади** – та частина обладнання, яка сприймає, обчислює, вимірює, спостерігає, записує, зберігає і показує параметри установок і режимів, фіксує значення фізичних величин.

**Зразок для експерименту** – це об'єкт, який підпадає під дослідження і який, при необхідності, можна замінити іншим. В окремих експериментах його в явному вигляді може й не бути, наприклад, при дослідженні нового способу виробництва чи технології.

**Вимірювальна апаратура** – сукупність пристроїв, які необхідно мати для проведення експерименту (у тому числі вимірювальні прилади та досліджуваний об'єкт).

**План експерименту** – це набір інструкцій щодо проведення експерименту, в якому подається послідовність роботи і вказується характер та значення змінних, наводяться рекомендації до виконання повторних експериментів.

**Послідовність проведення експерименту** – порядок, у якому вносять зміни в роботу ВА.

**Реплікація** – повторення експерименту. Але це не просто повторення

вимірювань, а повернення до попередніх умов після широкої серії досліджень, проведених при різних, відмінних від початкових, параметрах установок.

**Змінна** – будь-яка варійована фізична величина.

**Незалежна змінна** – змінна, яка варіюється незалежно від інших змінних.

**Залежна змінна** – змінна, що змінюється при варіюванні інших змінних.

**Зовнішня змінна** – та, яка впливає на експеримент, але змінюється випадковим чином і в окремих випадках не контролюється (температура і тиск навколишнього повітря, волога тощо).

**Контрольований експеримент** – такий, при якому вплив зовнішніх змінних виключається, а незалежні змінні можна встановлювати точно за бажанням експериментатора.

**Дані експерименту** – будь-яка інформація в символічному вигляді, отримана під час експерименту (фотознімки, цифри, прості відповіді “так – ні”, спектри, сигнали тощо).

**Необроблені дані** – дані, одержані безпосередньо з приладів.

**Оброблені дані** – та сама інформація, змінена в результаті виконання над нею певних математичних дій.

### 3.3 Основи експериментальної інформатики

До методів експериментальної інформатики відносять: сприйняття, порівняння, відтворення, спостереження, лічбу, контроль, вимірювання, розпізнавання образів, діагностику, ідентифікацію, випробування, експериментальні дослідження, моніторинг.

**Сприйняття** – відображення найпростіших характеристик навколишнього середовища органами чуття людини або спеціальними технічними засобами (сенсорами, індикаторами) – сигналами, зручними для подальшого використання.

**Порівняння** – відображення подібності чи відмінності об’єктів логічним висновком. Загальновідомою є теза “Все пізнається в порівнянні”. І справді, цим методом встановлюється насамперед те, що є спільним для ряду об’єктів та явищ і що надалі доцільно зробити предметом більш детального вивчення. Відомо, що більшість матеріальних об’єктів проявляють себе одночасно у двох відношеннях, а саме еквівалентності і порядку. Відповідно і порівняння об’єктів здійснюється за еквівалентністю та за інтенсивністю, тобто за розміром.

**Відтворення** – створення матеріальних об’єктів, що характеризуються фізичною величиною наперед заданого значення за допомогою спеціального технічного засобу, який називають мірою. Відтворення матеріальних об’єктів із заданими довжиною, площею, об’ємом з’явилося задовго

до вимірювань. Давньогрецька математика й геометрія ґрунтувались, як відомо, на цілих числах і звичайних дробах, а також сумірних відрізках, площах та об'ємах. Сумірним відрізком був відрізок, кратний меншому відрізкові – мірі. Операції “вимірювання”, “відважування”, тобто відтворення матеріальних об'єктів, що характеризуються фізичними величинами заданих розмірів, ще у глибокій давнині були найважливішими технологічними операціями у будівництві, торгівлі, землевпорядкуванні. У давній приказці “сім раз відмір та один раз відріж” йдеться про вимірювання, тобто відтворення фізичного об'єкта із заданим розміром конкретної властивості.

**Спостереження** – відображення властивості, залежності, стану або ситуації словесним чи графічним описом. Спостереження є таким методом пізнання, який здійснюється за допомогою як органів чуття людини, так і спеціальних технічних засобів. Спостереження – складова частина всіх експериментальних методів пізнання. Як метод пізнання спостереження має задовольняти такі основні вимоги: планомірність, цілеспрямованість й систематичність.

**Лічба** – відображення кількісної властивості певної сукупності матеріальних якісно однорідних предметів числом. Для здійснення лічби необхідно розрізнити кожен об'єкт із сукупності об'єктів. Лічба ґрунтується на понятті одиниці. У V ст. до н.р. Евдокс писав: “Одиниця – це те, згідно з чим кожна окрема річ зветься однією. Число – це множина, складена з одиниць”.

**Вимірювання** – відображення вимірюваних величин їхніми значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів. Вимірювання є комплексною інформаційною процедурою, що ґрунтується на використанні щонайменше двох методів пізнання: відтворення і порівняння.

**Контроль** – відображення відповідності між станом об'єкта і заданою нормою відповідним висновком (наприклад, придатний, непридатний). Підлягає контролю, головним чином, стан предметів виробництва та навколишнього середовища. В техніці переважає контроль фізичних величин та параметрів процесів. Контроль параметрів – відображення співвідношення між контрольованим параметром та нормою.

**Ідентифікація** – відображення залежності між величинами, що характеризують матеріальний об'єкт, математичною або логічною моделлю. Ідентифікацію розпочинають із визначення типу моделі об'єкта, що відображає залежність між його параметрами, після чого визначають основні параметри моделі, ступінь, точність і вірогідність оцінювання.

**Діагностика** – відображення загального стану об'єкта та причин цього стану діагнозом із зазначенням особливостей стану і локалізацією відхилень від норм.

**Розпізнавання об'єктів** – відображення даного об'єкта за сукупніс-

тю його властивостей одним із класів множини цих об'єктів. Розпізнавання об'єктів проводиться шляхом сприйняття їхніх характеристик, порівняння й аналізу на основі попередньої класифікації даної множини об'єктів.

**Випробування** – відображення стану досліджуваного об'єкта під час дії на нього сукупності регламентованих факторів сертифікатом.

**Експериментальні дослідження** – відображення складного матеріального об'єкта або ситуації, що характеризується сукупністю взаємопов'язаних величин, системою відповідних моделей.

Важливе місце серед експериментальних методів пізнання займають вимірювання, за допомогою яких отримують необхідну кількісну та якісну інформацію. Наявність вимірювальної інформації про об'єкт дослідження дає можливість більш ефективно використовувати усі інші експериментальні методи пізнання - від спостереження до експериментального дослідження [20].

Забруднення природного середовища та потреба охорони природи привели до необхідності організації системи обліку розмірів антропогенних змін в природному середовищі та їхніх проявів в окремих регіонах. Ця задача вирішується за допомогою екологічного моніторингу.

**Моніторинг** – це науково-інформаційна система спостережень, оцінювань та прогнозів стану навколишнього середовища, включаючи спостереження за дією на нього Людини. В Україні створена Державна система моніторингу, до складу якої входять служби кліматичного, санітарно-гігієнічного, екологічного моніторингу тощо. Крім того, виділяють три види моніторингу: **фоновий**, **біосферний** (біологічний) та **господарський**. Можливі й інші класифікації моніторингу: **базовий** (система спостережень і прогнозів), **глобальний** (стеження за змінами біосферних процесів, включаючи антропогенну дію), **імпактний** (спостереження за локальними небезпечними зонами) тощо. Структура Державної системи моніторингу наведена на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Структура Державної системи моніторингу

### 3.4 Етапи експерименту

Незважаючи на величезну різноманітність експериментів, можна подати загальний план їх підготовки та проведення, які містять у собі такі

основні взаємопов'язані етапи:

- 1) **літературний огляд**, патентний пошук, Інтернет-пошук. Переконатися, що людство до Вас аналогічну задачу ще не розв'язало;
- 2) **визначення мети та завдань експерименту**; останні в найзагальнішому випадку можуть бути зведені до таких:
  - a) перевірка передбачення теорії;
  - b) перевірка правильності розрахунку якоїсь фізичної величини, що характеризує параметр обладнання чи процесу, який відбувається в ньому;
  - c) дослідження взаємозв'язку певних змінних, дістати які за розрахунками дуже важко, та експертного зразка (об'єкта контролю чи вимірювань);
- 3) **вибір об'єкта дослідження**, при якому зумовлюються не тільки вид досліджуваного об'єкта, але й те, в якому вигляді – натуральному чи модельованому – мають подаватися в експерименті його параметри, які з них будуть вхідними, а які – вихідними, які змінюються в процесі експерименту, а які будуть сталими. Ретельність підготовки зразкового або робочого засобів вимірювань;
- 4) **теоретична підготовка експерименту**. У процесі проведення експериментальних досліджень, щоб перевірити передбачення теорії, необхідно проаналізувати її та виявити "критичні" точки, в яких вона найбільш різко розбігається з існуючими поглядами на явища та процеси, межі досліджень.

Якщо перевіряється правильність розрахунку, то визначаються теоретично можливі способи безпосереднього вимірювання штучної величини з максимальною точністю, або той факт, чи можна її обчислити через інші вимірювані величини. При цьому необхідно пам'ятати, що непряме знаходження величини пов'язане з більшою похибкою, ніж пряме її вимірювання, а також про те, що окремі математичні залежності справджуються тільки за певних умов, яких слід суворо дотримуватись в ході експерименту.

При дослідженні взаємозв'язків, змінних на цьому етапі, теоретично встановлюються найпростіші й однозначні залежності, які можна перевірити в процесі експерименту з мінімальними затратами часу і з допомогою мінімальної кількості апаратури, особливо нестандартної.

На цьому етапі з'ясовують, що і яким способом треба вимірювати, якими мають бути чутливість і точність вимірювальних приладів та обладнання, перевіряють можливість використання серійних приладів;

5) **приладне оснащення експерименту**. Цей етап включає в себе проектування або вибір вимірювальної апаратури, в тому числі зразка для експерименту, спеціальних дослідницьких стендів, вибір конкретних вимірювальних приладів (в разі їх відсутності – проектування спеціальних приладів), розрахунок схем увімкнення, забезпечення обліку зовнішнього впливу на апаратуру і вимірювальний об'єкт (зразок) тощо;

б) виготовлення, монтаж, і **налагодження вимірювальної апаратури**, встановлення, перевірки. Математична теорія планування експериментів

базується на використанні положень математичної статистики та кібернетики. Вона застосовується для систем будь-якої складності;

7) **проведення експерименту** за відповідним алгоритмом і методиками, розробленими (спланованими) раніше.

Розглянемо деякі поняття та означення математичної **теорії планування експериментів**. Будь-який експеримент можна подати як відповідну систему операцій, спрямованих на отримання потрібної інформації про досліджуваний об'єкт.

Змінна величина, яка так чи інакше впливає на результати експерименту, називається **фактором**. **Рівнем фактора** називають його фіксовані значення, які відраховуються від початку відліку.

Простір, координатні осі якого відповідають значенню факторів, називають **факторним простором**. Та область факторного простору, де розміщені точки, які відповідають умовам проведення експерименту, називають **областю експериментування**. Спостережувана випадкова величина, яка за припущенням залежить від факторів і являє собою їх відгук, називається **функцією відгуку**. Геометричне подання функції відгуку у факторному просторі є **поверхнею відгуку**.

Розрізняють **основні** та **випадкові** фактори.

Якщо в експерименті виявляється залежність функції у тільки від одного фактора  $x$ , то такий експеримент називається **однофакторним**. Якщо така залежність обумовлюється більшою кількістю факторів, то експеримент буде **багатофакторним**.

Серед методів планування експерименту найпоширенішим є **метод повного факторного експерименту** – експерименту, план якого містить усі можливі комбінації всіх факторів, які повторюються на кожному рівні однакове число разів (для  $N$  рівнів кількість таких комбінацій буде  $N^n$ , де  $n$  – кількість факторів). Кожний фактор має зумовлену межу вимірювання, всередині якої він змінюється дискретно чи перервно. Метод повного факторного експерименту базується на тому положенні, що будь-яку неперервну досліджувану функцію  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , яка має всі похідні в заданій точці з координатами  $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$ , можна розкласти в ряд Тейлора:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_H x_H + \beta_{21} x_1 x_2 + \dots + \beta_{(n-1)x(n-1)} x_n + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \dots + \beta_{nn} x_n^2, \quad (3.1)$$

де  $\beta_0$  – значення функції відгуку на початку координат  $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$ .

$$\beta_i = \frac{dy}{dx_i}; \quad \beta_{ij} = \frac{d^2 y}{dx_i dx_j}; \quad \beta_{ii} = \frac{1}{2} \frac{d^2 y}{dx_i^2}. \quad (3.2)$$

На практиці за результатами експерименту цей поліном замінюється так званим **рівнянням регресії**:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i z_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} z_i z_j + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} z_i^2, \quad (3.3)$$

де  $b_0, b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти регресії;  $z_i$  – закодована змінна, яка введена для спрощення обчислень і є відповідною величиною, а саме:

$$z_i = \frac{x_i - x_{0i}}{0,5\Delta x_i}; \quad \Delta x_i = x_{i\max} - x_{i\min}; \quad x_{0i} = \frac{x_{i\max} + x_{i\min}}{2}. \quad (3.4)$$

Максимальному значенню  $x_{i\max}$  відповідає  $z_i = +1$ , а мініимальному  $x_{i\min}$  відповідає  $z_i = -1$ .

Проілюструємо використання методів планування на прикладі дво- і трифакторного експериментів. Для двофакторного експерименту припускають, що явище чи процес описується лінійним поліномом, тобто поверхня відгуку є площиною:

$$y = b_0 + b_1 z_1 + b_2 z_2. \quad (3.5)$$

Щоб побудувати поверхню відгуку у вигляді площини, досить виконати чотири досліди. Найкраще вимірювати вибрані фактори на двох рівнях – максимальному  $z_i = +1$  і мініимальному  $z_i = -1$ .

План експерименту в цьому випадку можна подати у вигляді матриці  $y = f(z_1, z_2)$ . Нагадаємо, що кількість дослідів дорівнює  $N^n$ , де  $N$  – кількість рівнів (для нашого випадку 2), а  $n$  – кількість факторів (у нашому випадку також 2). Тоді матриця плану експерименту буде виглядати так, як показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Матриця плану експерименту ( $N=2, n=2$ )

Дослід	Фактори		Функція відгуку
	$z_1$	$z_2$	
1	-1	-1	$y_1$
2	+1	-1	$y_2$
3	-1	+1	$y_3$
4	+1	+1	$y_4$

Принцип побудови матриці планування повного факторного експерименту полягає в тому, що рівні варіювання першого фактора чергуються від досліду до досліду, причому частота зміни рівнів варіювання кожного наступного фактора вдвоє менша, ніж попереднього.

Для трифакторного експерименту матрицю плану можна подати аналогічно. У цьому разі  $N=2, n=3$ , а кількість дослідів дорівнює 8. Тоді матриця плану експерименту набирає вигляду, що відповідає таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця плану експерименту ( $N=2, n=3$ )

Дослід	Фактори			Функція відгуку
	$z_1$	$z_2$	$z_3$	
1	2	3	4	5
1	-1	-1	-1	$y_1$



### Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
2	+1	-1	-1	$y_2$
3	-1	+1	-1	$y_3$
4	+1	+1	-1	$y_4$
5	-1	-1	+1	$y_5$
6	+1	-1	+1	$y_6$
7	-1	+1	+1	$y_7$
8	+1	+1	+1	$y_8$

Матриця планування повного факторного експерименту є ортогональною, оскільки:

$$\sum_{j=1}^m z_{ij} = 0; \quad \sum_{j=1}^m z_{ij}^2 = m; \quad \sum_{j=1}^m z_{ir} z_{js} = 0, \quad (3.6)$$

де  $m$  – кількість дослідів повного факторного експерименту;

$j$  – номер дослідів;

$i, r, s$  – номери факторів.

Для такої ортогональної матриці коефіцієнти регресії лінійного полінома зумовлюються такими виразами:

$$b_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_j; \quad b_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m z_{ji} y_j; \quad b_{is} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m z_{jr} z_{js} y_j. \quad (3.7)$$

Залежно від характеру досліджень експеримент можна виконувати послідовною зміною факторів у межах однієї серії дослідів (наприклад, під час виконання дослідів в якійсь одній точці плану), або заміною фактора випадковим числом. В цьому випадку експеримент називається **рандомізованим**.

Прикладом послідовного плану експерименту може бути знаходження струму в лінійному полі за законом Ома:  $I = \frac{U}{r}$ , якщо під час проведення дослідів напруга джерела підтримується постійною, а опір змінюється послідовно, крок за кроком, від меншого значення до більшого.

Якщо дослід такий же, але рандомізований, то зміна опору може бути випадковою, наприклад:

$$r_{\min}; \quad \frac{3}{4} r_{\max}; \quad \frac{1}{2} r_{\max}; \quad r_{\max}; \quad \frac{1}{4} r_{\max}.$$

Провівши експеримент, знаходять коефіцієнти регресії, для чого в найзагальнішому випадку використовують метод найменших квадратів, у відповідності з яким мінімізують суму квадратів відхилень розходжень значень величин у від одержаних відповідно в процесі експерименту.

Для повністю рандомізованого факторного експерименту план може бути побудований за допомогою латинських квадратів з використанням таблиці випадкових чисел. У цьому разі в кожному досліді вказується необхідне поєднання рівнів усіх факторів. Наприклад, для факторного експе-

рименту, в якому кожний фактор вимірюється на трьох різних рівнях (наприклад,  $x_1, x_2, x_3; y_1, y_2, y_3; z_1, z_2, z_3$ ), латинський квадрат буде таким:

	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$x_3$	$z_1$	$z_2$	$z_3$
$x_2$	$z_2$	$z_3$	$z_1$
$x_1$	$z_3$	$z_1$	$z_2$

Факторний план використовується у таких випадках, коли відомо, що досліджувана функція  $F$  залежить від кожного фактора, причому

$$F = f_1(x) + f_2(y) + f_3(z),$$

де  $x, y, z$  – фактори експерименту.

Якщо невідомо, до якого класу належить функція  $F$  і чи підходить вона до цих класів взагалі, то рекомендується не проводити факторний експеримент, а вибрати класичний план його проведення, згідно з яким при  $F = f(x, y, z)$  провести послідовно ряд однофакторних експериментів, у яких усі змінні, крім однієї, вважаються сталими, і лише одна змінна варіюється в усіх діапазонах її значень.

У тих випадках, коли відшукувана функція залежить відразу від кількох факторів, перерахуванням результатів експерименту можна знайти її залежність від одного фактора, який цікавить нас найбільше. Наприклад, у випадку трифакторного експерименту, план якого подається латинським квадратом, запишемо відповідні рівняння для рядків, що містять  $x_1, x_2, x_3$ , розв'язуючи їх разом, знайдемо

$$f(x_1) = \frac{1}{3} \sum_1^3 F_{x_1}; \quad f(x_2) = \frac{1}{3} \sum_1^3 F_{x_2}; \quad f(x_3) = \frac{1}{3} \sum_1^3 F_{x_3}, \quad (3.9)$$

де  $F_{x_1}, F_{x_2}, F_{x_3}$  – відповідні функції відгуку, отримані в результаті експерименту при відповідних рівнях зміни факторів.

Для рядка квадрата  $x_1$  це будуть такі три рівняння:

$$\left. \begin{aligned} F_{x_1} &= f(x_1) + f(y_1) + f(z_3) \\ F_{x_2} &= f(x_1) + f(y_2) + f(z_1) \\ F_{x_3} &= f(x_1) + f(y_3) + f(z_2) \end{aligned} \right\}. \quad (3.10)$$

### 3.5 Основи вимірювання та вимірювальні прилади

Проведення будь-якого експерименту пов'язане з великою кількістю вимірювань. Поняття “вимірювання” означає знаходження значення певної фізичної величини за допомогою досліду та спеціальних технічних засобів. Існує спеціальна наука “метрологія”, яка займається теорією та практикою вимірювання. Вимірювання фізичних величин є одним з найважливіших методів пізнання світу, що ґрунтується на принципі відображення фізичної величини певного розміру і результату відображення, тобто значення фізичної величини. Операція вимірювання базується на основному рівнянні вимірювань:

$$X = N \cdot [x], \quad (3.11)$$

де  $X$  – значення вимірюваної величини;

$[x]$  – значення зразкової величини;

$N$  – коефіцієнт порівняння або відхилення вимірюваної величини від зразкової величини.

Якщо значення вимірюваної величини в процесі вимірювання не змінюється, то маємо **статичне вимірювання**, в іншому випадку – **динамічне вимірювання**.

Статичне вимірювання спостерігається, як правило, при дослідженнях усталених режимів або впливів. Під час визначення параметрів систем та їх перехідних процесів, коли ці параметри не залишаються сталими в часі, проводять динамічні вимірювання, наприклад, при дослідженні стійкості екологічних систем.

Вимірювання можуть бути **прямими** та **непрямими**. Під час прямих вимірювань потрібна величина відраховується безпосередньо за шкалою приладу, відградуйованого у відповідних одиницях.

При непрямих вимірюваннях виконують пряме вимірювання однієї величини, а потім, використовуючи відомі функціональні залежності, знаходять шукану величину. В останньому випадку вимірюваний комплекс має в своєму складі так звані давачі, які вимірюють та перетворюють шукану величину в проміжну.

Технічні засоби, що їх використовують для проведення вимірювань і які мають нормовані метрологічні характеристики, називаються **засобами вимірювання**. До них відносяться вимірювальні прилади та вимірювальні пристрої і перетворювачі.

**Вимірювальні прилади** виробляють сигнали вимірюваної інформації в такій формі, щоб її легко було прочитати експериментаторові. Всі вимірювальні прилади поділяють на **вказівні** та **реєстраційні**. Якщо прилад має шкалу з цифрами і будь-який вказівний пристрій, наприклад стрілку, то такий прилад називають **вказівним**. Вказівні прилади, які видають інформацію тільки у вигляді цифр і не містять вказівних пристроїв, називають **цифровими**.

Для того, щоб вимірювати величини в динаміці і фіксувати при цьому їх зміни в часі, використовують **реєстраційні** прилади, які в залежності від кількості сигналів, що подаються на їх вхід, можуть бути одно- та багатоканальними. Зміни параметрів процесу можуть реєструватися або на спеціальному папері за допомогою чорнильних пер, або у вигляді цифр на спеціальній стрічці, або на кіно- чи фотоплівці за допомогою світлового променя. До першого типу реєстраційних приладів належать перові самописці, а до другого – променеві осцилографи.

У тих випадках, коли проводяться непрямі вимірювання певної електричної чи механічної величини, використовують **вимірювальні пристрої і перетворювачі**, які виробляють сигнал вимірюваної інформації у такій

формі, щоб легко було передавати, перетворювати, обробляти та зберігати. Але цей сигнал може бути сприйнятий експериментатором візуально. Для цього він повинен надходити на спеціальні реєструвальні прилади.

Щоб отримати дійсні значення вимірюваної величини, необхідно покази приладів помножити або на сталу приладу, або на ціну поділки шкали чи скористатися градуйованою кривою. Під **сталою приладу** розуміють кількість одиниць, на які потрібно помножити відлік.

Для правильного вибору вимірювального приладу велике значення має **діапазон** його вимірювання, який дорівнює різниці між значеннями вимірюваної величини, що відповідають початку та кінцю шкали.

Засоби вимірювання поділяють на **класи точності**, які характеризуються значеннями **допустимої похибки**. Чим менша цифра, яка означає клас точності, тим менша похибка і вища точність вимірювання. Клас точності приладу означає допустиму, сумарну, відносну похибку щодо верхньої межі вимірювань. Якщо клас приладу становить, наприклад 1, то допустима відносна похибка буде  $\pm 1\%$ .

### 3.6 Похибки вимірювань

Важливою характеристикою будь-якого вимірювального приладу є його **точність**, яка характеризується **сумарною похибкою**. Вона визначає похибку вимірювання, тобто відхилення показу приладу від дійсного значення вимірюваної величини.

Математично **абсолютна похибка вимірювання** ( $\Delta$ ) визначається алгебраїчною різницею між дійсним значенням вимірюваної величини  $x_0$  і значенням цієї величини  $x$ , отриманим під час вимірювання:

$$\Delta = x_0 - x. \quad (3.12)$$

Абсолютна похибка вимірювання виражається в тих самих одиницях, що і вимірювана величина.

Значного поширення в теорії вимірювання набула інша величина похибки, яка називається **відотною похибкою вимірювань** та виражається у відсотках (%) від вимірюваної величини:

$$\delta = \left| \frac{\Delta}{x_0} \right| \cdot 100\%. \quad (3.13)$$

За характером зміни розрізняють **систематичну** та **випадкову** похибки. **Систематичною похибкою** ( $\bar{\Delta}$ ) називають таку похибку, яка залишається сталою або прогнозовано змінюється при повторних експериментах. Таку похибку можна частково вилучити під час проведення експерименту за рахунок введення поправок, рандомізації тощо. Систематична похибка може зумовлюватися різними причинами. Наприклад, це може бути інструментальна похибка, що виникає через появу люфтів усередині при неточному градуванні шкали приладу, а також через спрацювання та ста-

ріння його вузлів. В інших випадках така похибка може зумовлюватися недоліками самого методу вимірювань, застосуванням спрощених формул тощо. Дуже часто причиною систематичної похибки є *суб'єктивна похибка* спостерігача, яка пов'язана з його психофізіологічними особливостями.

**Випадкова похибка** ( $\Delta^0$ ) – це складова похибки, що змінюється не прогнозовано у ряді вимірювань тієї ж величини.

Випадкові похибки не підлягають жодним закономірностям і виникають від досліду до досліду випадковим чином під час вимірювання однієї і тієї самої величини. Зауважимо, що випадкові похибки можна істотно зменшити регулюванням приладів, урахуванням факторів навколишнього середовища, дбайливим розміщенням вимірювальних пристроїв тощо.

При цьому на основі теорії ймовірності і математичної статистики можна з відповідним ступенем ймовірності знайти інтервал, усередині якого знаходиться відповідне значення випадкової похибки.

В окремих випадках експериментатор може мати справу з грубою похибкою вимірювання, яка перевищує сподівану за даних умов. Вона може пояснюватися різкими поштовхами та відхиленнями вхідної напруги, неуважністю експериментатора під час читання показу того чи іншого приладу. Цю похибку легко виявити і тоді вилучити відповідне значення з ряду вимірювань.

У спеціальній літературі з вимірювальної техніки докладно описані методики визначення характеристик випадкових величин, пов'язаних з обчисленням похибок. Тут спинимося лише на таких важливих поняттях, як довірчий інтервал, довірна ймовірність, надійність результату серії вимірювань.

Аналіз випадкових похибок ґрунтується на теорії випадкових похибок, яка дає змогу з певною гарантією обчислити справжнє значення вимірюваної величини та оцінити можливі похибки.

Для підвищення достовірності вимірювань тієї чи іншої величини та зменшення впливу випадкової похибки бажано збільшувати кількість вимірів та усереднити отримані результати. Повністю вилучити випадкову похибку не можна, а можна тільки оцінити її числове значення. Для цього виконують статистичну обробку результатів вимірювань. Оскільки випадкова похибка вимірювань визначається великим числом незалежно діючих випадкових складових, то з центральної граничної теореми теорії ймовірності розподіл випадкових похибок вимірювання буде близьким до нормального (Гаусса) при обробці досить великого ряду вимірювань (не менше 30, але краще, якщо це 1000 і більше). При малій кількості вимірювань (до 30) використовують функції Стюдента. Після вилучення з масиву вимірів відомих систематичних похибок результат вимірювань визначають, виходячи з математичного очікування, що для нормального закону розподілу є середнім арифметичним ( $\bar{x}$ ):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3.14)$$

Випадкове відхилення кожного окремого вимірювання:

$$v_i = x_i - \bar{x}. \quad (3.15)$$

Випадкову похибку оцінюємо за *середньоквадратичним відхиленням*  $S$  результатів вимірювань:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}, \quad \sigma[\bar{x}] = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.16)$$

Таким чином, за рахунок багатократних вимірювань можна досить ефективно зменшувати випадкову похибку.

**Довірчим інтервалом** називається інтервал значень  $(\bar{x} - \Delta_\delta, \bar{x} + \Delta_\delta)$ , в якому перебуває дійсне значення вимірюваної величини із заданою ймовірністю ( $\bar{x}$  – середньоарифметичне значення вимірюваної величини при серії вимірювань;  $\Delta_\delta$  – довірчі границі похибки вимірювання).

**Довірча ймовірність вимірювання** – це ймовірність того, що дійсне значення вимірюваної величини потрапляє в даний довірчий інтервал. Вона виражається в частках одиниці або в відсотках і визначає достовірність вимірювання.

При числі вимірів не більше 30 довірчі межі визначають за формулою Стьюдента:

$$\Delta_\delta = \pm k_t \cdot \bar{\sigma}(\bar{x}), \quad (3.17)$$

де  $k_t$  – коефіцієнт розподілу Стьюдента, який залежить від заданої ймовірності  $P$  і числа вимірювань  $n$ , та визначається з табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнтів Стьюдента

n-1	P=0,95	P=0,99	n-1	P=0,95	P=0,99
3	3,182	5,841	16	2,120	2,921
4	2,776	4,604	18	2,101	2,878
5	2,571	4,032	20	2,086	2,845
6	2,447	3,707	22	2,074	2,819
7	2,367	3,500	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	26	2,056	2,779
9	2,262	3,250	28	2,048	2,763
10	2,228	3,169	30	2,043	2,750
12	2,179	3,055			
14	2,145	2,977	$\infty$	1,960	2,576

Розрізняють *генеральну* та *вибіркову сукупності вимірювань*. Під генеральною сукупністю розуміють всю нескінченну множину можливих значень вимірювань  $x_i$  чи можливих значень похибок  $\Delta x_i$ . Для вибіркової сукупності число вимірювань обмежене і в кожному конкретному випадку строго визначене. Вважають, що коли  $n > 30$ , то середнє значення даної су-

купності вимірювань величини  $x$  достатньо наближається до її істинного значення. Теорія випадкових похибок дає змогу оцінити точність і надійність вимірювань за даною кількістю вимірювань чи визначити мінімальну їх кількість, яка гарантує задану точність і надійність результатів. Поряд з цим постає потреба вилучити грубі похибки, визначити вірогідність здобутих даних тощо.

Якщо вилучити систематичні похибки та грубі прорахунки, то навіть в разі використання засобів вимірювання підвищеної точності на результати вимірювань впливатимуть різні випадкові фактори, які не піддаються обліку та контролю (стан здоров'я експериментатора; випадкові вібрації окремих частин вимірювальних пристроїв; невраховані зміни зовнішніх факторів тощо). При цьому результати окремих вимірювань виявляють характерну картину випадкового розсіювання, описуваного нормальним законом розподілу, і щільність ймовірності вимірюваних значень величини

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_n \cdot 2\pi} \exp\left[-(x-m)^2 \cdot (2\sigma_n^2)\right], \quad (3.18)$$

де  $m$  – математичне сподівання.

На рис. 3.2 зображено нормальну криву розподілу випадкової величини, де по осі абсцис відкладені результати вимірювань, а по осі ординат – щільність імовірності їх появи.

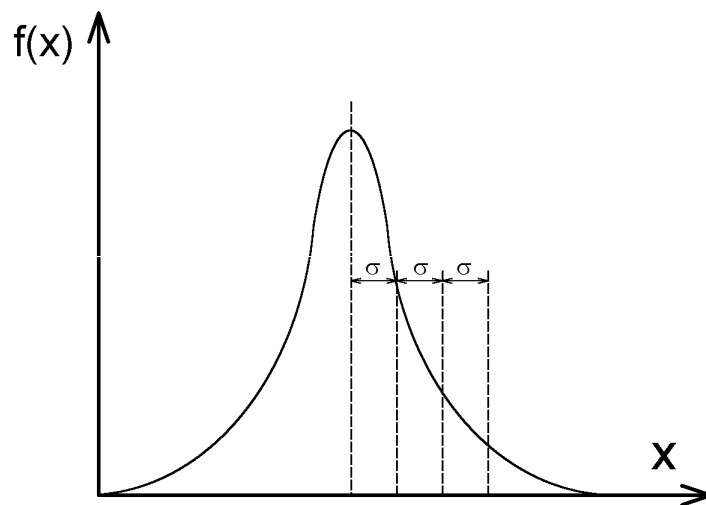


Рисунок 3.2 – Нормальний розподіл похибок

Площа під кривою, що відповідає будь-якому інтервалу на осі абсцис, являє собою ймовірність  $p$  влучення випадкового результату вимірювання в цей інтервал.

Проінтегрувавши (3.18), отримаємо:

$$p = \frac{2}{\sigma_n \cdot 2\pi} \int_0^x e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_n^2}} dx. \quad (3.19)$$

Таким чином, на інтервал  $(m-y_n; m+y_n)$  припадає 0,6228 усіх виконаних вимірювань. У ширших межах, наприклад, на інтервалі  $(m-2y_n; m+2y_n)$  міститься вже 0,9546 усіх вимірювань, а за "трисигмові" межі виходять лише 0,0028 вимірювань. Отже, метод "трьох сигм" досить гарантовано унеможливило вплив випадкової похибки на результати вимірювань.

Параметр  $y_n$  характеризує форму нормальної кривої розподілу. Якщо змінити метод вимірювання (точність) величини  $X$ , розсіювання відбуватиметься навколо центра з попередньою абсцисою  $m$ , але форма кривої зміниться, оскільки середньоквадратичне відхилення залежить від точності вимірювань.

### ***Кінцева мета аналізу виконаних вимірювань – визначення похибок.***

Оскільки нормальний закон справджується для нескінченного числа вимірювань (практично для  $n=200$  і більше), то щоб оцінити надійний інтервал, користуються розподілом Стюдента, який враховує вплив кінцевого числа вимірювань на величину надійного інтервалу (при  $n \rightarrow \infty$  розподіл Стюдента переходить у нормальний).

Як уже зазначалося, грубі похибки мають бути відкинуті як такі, що не заслуговують на увагу. На практиці відкидають результати вимірювань, похибки яких перевищують значення  $D \geq 3y_m$ .

Випадкову складову похибок непрямих вимірювань можна строго визначити лише за умови, що залежність  $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  лінеаризована з достатньою точністю. У такому разі середньоквадратичне відхилення величини  $y$ , здобуте в результаті прямих незалежних вимірювань величини  $x_i$ , від систематичних похибок вимірювань:

$$\sigma_m = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{ni} \right)^2, \quad (3.20)$$

де  $y_m$  – середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань величини  $x_i$ .

Позначивши для даної надійної ймовірності в похибки вимірювань величини  $x_i$ , через  $\epsilon_i$  дістанемо

$$\epsilon_y = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \epsilon_i \right)^2. \quad (3.21)$$

Похибки в (3.21) виражають в тих самих одиницях, що й величину  $\epsilon_y$ ; якщо безпосередньо вимірювані величини  $x_i$  є різнорідними, то використовують відносні похибки.

### **3.7 Уникнення "грубих" результатів експериментальних досліджень**

Перед тим, як обробляти результати експерименту, необхідно переконатися в їх однорідності, тобто визначити, якщо вони є, **аномальні ре-**



**зультати**, які б могли виникнути при раптовому зсуві центра розподілу можливих значень результатів або при збільшенні дисперсії.

При побудові процедур виявлення та вилучення результатів, які різко відрізняються від інших, використовується **апарат теорії перевірки статистичних гіпотез** [41]. Вихідним є положення, що розходження результатів викликано впливом випадкових величин і це розходження при звичайних умовах може бути представлено певним (найчастіше нормальним) законом розподілу, а підозрюваним є максимальний або мінімальний за своїм значенням результат  $x_{\max}$  або  $x_{\min}$  із отриманих  $N$  результатів.

В цьому випадку висувається так звана нульова гіпотеза  $H_0$ , що  $x_{\max}$  або  $x_{\min}$  належить до тієї ж самої генеральної сукупності, як і всі інші  $N-1$  результатів. Іншими словами, допускається, що  $x_{\max}$  або  $x_{\min}$  не є грубою помилкою. Альтернативна (протилежна) гіпотеза  $H_1$  полягає в тому, що миттєва зміна умов проведення дослідів привела до отримання значення  $x_{\max}$  або  $x_{\min}$ .

Розглянемо спочатку максимальне значення з ряду отриманих результатів. Перевірка нульової гіпотези полягає у тому, що значення  $x_{\max}$  порівнюються з деяким граничним значенням і гіпотеза  $H_0$  бракується, якщо  $x_{\max}$  перебільшує це граничне значення. І, навпаки, якщо  $x_{\max}$  менше граничного значення, то гіпотеза  $H_0$  приймається – результати однорідні.

Звичайно як неможливі відхилення від центра розподілу результатів приймаються такі, ймовірність виникнення яких не перебільшує 0,05 або 0,01. Таку ймовірність називають **рівнем значимості** і позначають  $\alpha$ , а відповідну їй область великих відхилень – **критичною областю**.

Для побудови критерію перевірки гіпотези  $H_0$  вихідним є наше знання **центра розподілу та дисперсії генеральної сукупності**.

Беручи до уваги, що ми маємо тільки ряд експериментальних результатів, то як критерій для перевірки гіпотези слід використовувати таку величину

$$T_{\max} = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{S}, \quad (3.22)$$

де  $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$  – середнє значення результатів;

$x_i$  – значення  $i$ -го результату  $i = \overline{1, N}$ ;

$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$  – зміщена ефективна оцінка середньоквадратич-

ного значення відхилення.

Розподіл та критичні точки величини  $T_{\max}$ , що отримані К. Пірсоном та Н. Смірновим, наведені в табл.3.4.

Таблиця 3.4 – Розподіл та критичні точки величини  $T_{\max}$ 

Кількість дослідів $N$	Рівень значимості $\alpha = 0,10$	Рівень значимості $\alpha = 0,05$	Рівень значимості $\alpha = 0,025$	Кількість дослідів $N$	Рівень значимості $\alpha = 0,10$	Рівень значимості $\alpha = 0,05$	Рівень значимості $\alpha = 0,025$
3	1,406	1,412	1,414	14	2,297	2,461	2,602
4	1,645	1,689	1,710	15	2,326	2,493	2,638
5	1,791	1,869	1,917	16	2,354	2,523	2,670
6	1,894	1,996	2,067	17	2,380	2,551	2,701
7	1,974	2,093	2,182	18	2,404	2,577	2,728
8	2,041	2,172	2,273	19	2,426	2,600	2,754
9	2,097	2,237	2,349	20	2,447	2,623	2,778
10	2,146	2,294	2,414	21	2,467	2,644	2,801
11	2,190	2,343	2,470	22	2,486	2,664	2,823
12	2,229	2,387	2,519	23	2,504	2,683	2,843
13	2,264	2,426	2,562	24	2,520	2,701	2,862
				25	2,537	2,717	2,880

**Приклад 1.**

Маємо ряд із  $N = 10$  результатів, який після упорядкування буде мати вигляд: 11; 12; 12; 12; 13; 13; 14; 14; 15; 18.

Як бачимо, є сумнів відносно 10-го результату  $x_{\max} = 18$ . Чи є підстави для його вилучення з подальшої обробки?

Для наведених даних  $\bar{x} = 13,4$ , а  $S = 1,91$ . Тоді значення  $T_{\max} = (18 - 13,4) / 1,91 = 2,41$ . Якщо задатися рівнем значимості  $\alpha = 0,05$  (тобто ймовірність відкинути  $H_0$  гіпотезу, в разі коли вона правильна), з табл. 3.4 для  $N = 10$  знаходимо  $T_{кр(\alpha)} = 2,294$ . Розраховане значення  $T_{\max} = 2,41$  і воно буде більше  $T_{кр(\alpha)}$ . Це означає, що гіпотеза про однорідність отриманих результатів відкидається і  $x_{10} = 18$  слід вилучити з подальшої обробки.

У випадку, коли у нас виникає підозра щодо мінімального результату, то для перевірки гіпотези необхідно скористатися величиною

$$T_{\min} = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{S}.$$

В подальшому процедура перевірки відрізняється лише тим, що з  $T_{кр(\alpha)}$  порівнюється  $T_{\min}$ .

Розглянемо ще один критерій вилучення одного екстремального результату, запропонований Ф. Граббсом [42].

Для побудови вирішального правила при вилученні максимального результату використовується величина

$$G_N = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (x_{(i)} - \bar{x}_1)^2}{\sum_{i=1}^N (x_{(i)} - \bar{x})^2}, \quad (3.23)$$

де  $\bar{x}_1 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N x_{(i)}$ ,  $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{(i)}$ .

В табл.3.5 наведені критичні значення  $G_{кр(\alpha)}$  для різних рівнів значимості  $\alpha$ . Гіпотеза про однорідність отриманих результатів відкидається і максимальне або мінімальне значення вилучається з подальшої обробки, якщо  $G_N$  або  $G_1$  менше критичного значення, заданого в таблиці.

Таблиця 3.5 – Критичні значення  $G_{кр(\alpha)}$  для різних рівнів значимості  $\alpha$

Кількість дослідів $N$	Рівень значимості $\alpha = 0,10$	Рівень значимості $\alpha = 0,05$	Рівень значимості $\alpha = 0,025$	Кількість дослідів $N$	Рівень значимості $\alpha = 0,10$	Рівень значимості $\alpha = 0,05$	Рівень значимості $\alpha = 0,025$
3	0,0109	0,0027	0,0007	14	0,5942	0,5340	0,4792
4	0,0975	0,0494	0,0248	15	0,6134	0,5559	0,5030
5	0,1984	0,1270	0,0808	16	0,6306	0,5755	0,5246
6	0,2826	0,2032	0,1453	17	0,6461	0,5933	0,5442
7	0,3503	0,2696	0,2066	18	0,6601	0,6095	0,5621
8	0,4050	0,3261	0,2616	19	0,6730	0,6243	0,5785
9	0,4502	0,3742	0,3101	20	0,6848	0,6379	0,5937
10	0,4881	0,4154	0,3526	21	0,6958	0,6504	0,6076
11	0,5204	0,4511	0,3901	22	0,7058	0,6621	0,6206
12	0,5483	0,4822	0,4232	23	0,7151	0,6728	0,6327
13	0,5727	0,5097	0,4528	24	0,7238	0,6829	0,6439
				25	0,7319	0,6923	0,6544

### Приклад 2.

Було проведено вимірювання відносної прозорості матеріалу і отримано 15 результатів, які після впорядкування подаються таким рядом значень: -0,60; -0,19; -0,13; -0,10; -0,09; -0,06; -0,02; 0,03; 0,04; 0,08; 0,09; 0,17; 0,21; 0,27; 0,43.

Таким чином, маємо мінімальне значення  $x_{(1)} = -0,60$ , а максимальне значення  $x_{(N)} = 0,43$  і, як можна побачити, вони суттєво відрізняються від значень основної групи. Почнемо з мінімального значення і перевіримо його за критерієм Граббса. Спочатку знайдемо  $\bar{x} = 0,008$  і  $S = 0,228$ .

Тоді

$$x_1 = \frac{1}{14} [(-0,19) + (-0,13) + \dots + 0,27 + 0,47] = 0,051.$$

$$G_1 = \frac{\left[(-0,19 - 0,051)^2 + (-0,13 - 0,051)^2 + \dots + (0,43 - 0,051)^2\right]}{\left[(-0,60 - 0,008)^2 + (-0,19 - 0,008)^2 + \dots + (0,43 - 0,008)^2\right]} = \frac{0,385}{0,780} \approx 0,494.$$

Критичне значення  $G_{кр(0,05)}$ , яке відповідає рівню значимості 0,05, находимо з таблиці 3.5, тобто  $G_{кр(0,05)} = 0,5559$ . Оскільки  $G_{кр(0,05)} > G_1$ , то гіпотеза про однорідність сукупності результатів відкидається і мінімальне значення  $x_{(1)} = -0,60$  вилучається з результатів.

Якщо для цього мінімального значення застосувати  $T$ -критерій, який був описаний раніше, то для нього отримуємо

$$T_{\min} = \frac{\bar{x} - x_{(1)}}{S} = \frac{0,008 + 0,60}{0,228} = 2,710.$$

З табл.3.4. визначимо критичне значення  $T_{кр(0,05)} = 2,493$ .

Таким чином і за цим критерієм  $x_{(1)} = -0,60$  необхідно вилучити з ряду значень.

Розглянемо 14 значень, які залишилися в ряду результатів. Перевіримо максимальне значення  $x_{(14)} = 0,43$  на наявність грубої помилки. Для ряду з 14 результатами знайдемо  $\bar{x} = 0,051$  і  $S = 0,166$ .

Тоді

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{13} \left[ (-0,19) + \dots + 0,27 \right] = 0,022.$$

$$G_{14} = \frac{\left[ (-0,19 - 0,022)^2 + \dots + (0,27 - 0,022)^2 \right]}{\left[ (-0,19 - 0,051)^2 + \dots + (0,43 - 0,051)^2 \right]} = \frac{0,532}{0,898} = 0,592.$$

Критичне значення  $G_{кр(0,05)}$  для ряду 14 значень згідно з табл.3.5 буде  $G_{кр(0,05)} = 0,5340$ . Оскільки  $G_{кр(0,05)} < G_{14}$ , то немає підстав вважати  $x_{(14)} = 0,43$  грубою помилкою, тобто гіпотеза  $H_0$  про однорідність результатів ряду з 14 значень справедлива.

Обмеженням застосування розглянутих методів є те, що результати, які отримані при експериментальному дослідженні, є вибіркою з генеральної сукупності, яка має нормальний закон розподілу. Крім того, вони орієнтовані на виявлення лише однієї грубої помилки. Тому, якщо декілька результатів різняться від основної маси результатів, то необхідно послідовно застосовувати розглянуті методи, як це було зроблено в останньому прикладі. До ряду результатів застосовується один з критеріїв вилучення одного з екстремальних результатів. Коли при перевірці нульової гіпотези з'ясується, що "підозрюваний" результат не є грубою помилкою, то процедура закінчується. В іншому випадку помилковий результат вилучається із

ряду результатів і процедура повторюється відносно значень, які залишилися. Треба відзначити трудність виявлення грубих помилок, яка пов'язана з так званим “*маскуючим ефектом*”. Результати, які підозрюються в аномальності, часто групуються близько один до одного, створюючи групу, яка дещо відстоїть від основної маси результатів. Це робить послідовні процедури нечутливими до них. В таких випадках треба користуватися узагальненим критерієм Граббса, виходячи з якого американськими статистиками Г. Тит'єном і Г. Муром була розроблена процедура виявлення  $k$  ( $k > 1$ ) екстремальних результатів [41,42].

### 3.8. Обробка результатів експерименту

У результаті проведеного експерименту дослідник отримує, як правило, великий обсяг інформації за допомогою вимірювальних приладів або пристроїв. Всю цю інформацію належить старанно обробити.

Найпоширенішими методами обробки такої інформації є *графічний* і *аналітичний*.

*Графічний метод* дає змогу зручно подавати результати вимірювань у вигляді графіків, вміщуючи максимум інформації на мінімальному просторі. При цьому важливо правильно вибрати систему координат та масштаби по осях. Мінімальна поділка координатної сітки не повинна бути меншою від значення ймовірної похибки вимірюваної величини.

У прямокутній системі координат на осі абсцис відкладають значення змінних  $x$ , а на осі ординат – відповідні їм значення  $y$ . З'єднуючи ці точки, дістають графік шуканої функції  $y = f(x)$ .

Якщо з'єднаємо отримані під час експерименту значення шуканої функції, то найчастіше дістанемо деяку ламану лінію, наприклад таку, яка зображена на рис. 3.3.

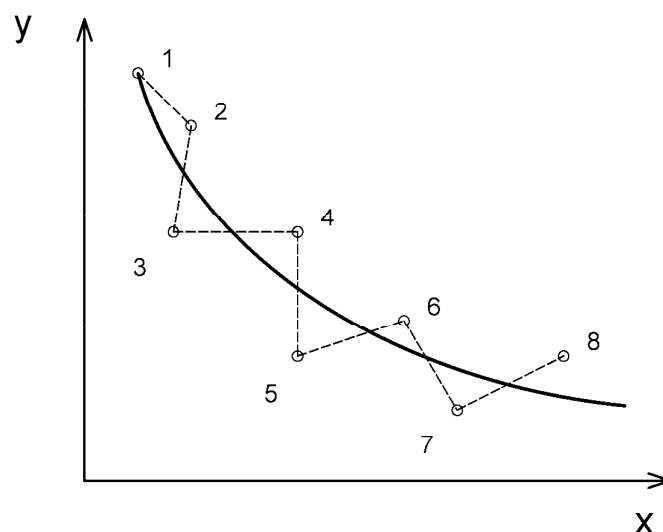


Рисунок 3.3 – Апроксимація результатів експерименту  
У цьому випадку її можна замінити плавною кривою, з'єднавши, на-

приклад, між собою середини відповідних відрізків, кінцями яких є експериментальні точки. Таке усереднення можна провести й строгіше, наприклад за допомогою **методу найменших квадратів**.

Якщо одна або кілька точок різко випадають із загального характеру кривої, то необхідно повторити експеримент у цих точках і уважно розібратися в можливих причинах таких аномалій.

Якщо в процесі випробування на кривій утворюються стрибки або якісь перегини, то їх також потрібно перевірити повторними експериментами у межах цих точок (найдоцільніше зменшити крок вимірювань).

Дуже важливо правильно вибрати координатну сітку, яка може бути рівномірною чи нерівномірною. Якщо функція змінюється дуже різко на досліджуваному інтервалі, то для її зручнішого зображення краще вибрати нерівномірну сітку, наприклад напівлогарифмічну чи логарифмічну. Тоді різко змінну криву, побудовану за дослідними даними, можна зобразити як лінійну функцію. Розглянемо приклад.

Нехай отримана крива описується функцією

$$y = kx^\alpha, \quad (3.24)$$

для якої можна записати

$$\lg y = \alpha \lg x + \lg k. \quad (3.25)$$

Позначивши  $\lg y = y_1$ ;  $\lg x = x_1$ ;  $\lg k = k_1$ , дістанемо нову функцію, яка є лінійною:

$$y_1 = \alpha x_1 + k_1. \quad (3.26)$$

Отже, вибравши логарифмічну координатну сітку, можна подати представлену функцію як лінійну.

Досить поширеним є ще один метод графічного подання результатів експерименту – **метод номограм**. Номограма є серією прямих чи кривих, за допомогою яких можна без обчислень діставати значення деяких функцій.

У разі, коли графічно потрібно відбити перебіг експерименту з трьома змінними  $b=f(x,y,z)$ , застосовують **метод відокремлювання змінних**. Одній з величин  $z$  в межах інтервалу вимірювань  $z_i-z_n$  задають кілька послідовних значень. Для решти двох змінних будують графіки  $y=f_i(x)$ , якщо  $z_i=\text{const}$ . У результаті на одному й тому самому графіку дістають сімейство кривих  $y=f_i(x)$  для різних значень  $z$ . Аналогічно будують функції з чотирма та більше змінними. Таким чином, можна простежити характер змінювання будь-якої величини як функції від іншої, коли решта величин мають сталі значення. Цей метод графічного аналізу потребує від виконавця ретельності й уваги, але здебільшого він найбільш простий і наочний.

Масштаб за координатними осями звичайно вибирають різним. Від його вибору залежить форма графіків. Вузькі графіки дають більшу похибку по осі  $y$ , широкі – по осі  $x$ . Правильно підібраний масштаб дає змогу істотно підвищити точність відліків. Розрахункові графіки, які мають складний вигляд, особливо ретельно потрібно будувати на ділянках згину, де кі-

лькість точок для креслення графіка має бути значно більшою, ніж на пологих відрізках.

У процесі експерименту всі параметри системи та режимів, отримані шляхом відповідних вимірювань, заносять у спеціальні журнали. Єдиної форми такого журналу немає, в кожному випадку дослідник мав розробити її, досягши зручності щодо відтворення запису та наступного врахування результатів вимірювань.

У журналі реєструється номер досліду, параметри навколишнього середовища або початкового режиму, величини змінних, спостережні відхилення тощо. Результати і початкові умови експерименту дослідник має реєструвати відразу начисто, без будь-яких чернеток. Інформація, відображена в журналі, повинна бути максимально повною.

У ряді випадків велику цінність становлять саме “*аномальні точки*” процесу чи явища, оскільки саме вони можуть стати передумовою нових теорій. Що ж до “нормальних” результатів, то вони можуть бути проаналізовані з погляду загальноприйнятих діючих уявлень і теорій.

У процесі проведення випробувань, як би ретельно не готувався експеримент, можуть виникнути серйозні помилки, зумовлені вимірювальними приладами, огріхами під час відліку даних чи при розрахунках, а можливо й у комп’ютерних програмах, які використовуються під час обробки даних. Для того, щоб уникнути таких помилок, слід проводити перевірку отриманих даних на точність та припустимість. Для цього існує ряд аналітичних методів. Серед них найпоширенішим є рівняння балансу (рівняння збереження енергії, кількості руху, закони Кірхгофа тощо).

Одним із оптимальніших способів перевірки достовірності отриманих результатів є виконання *повторних вимірювань* при незмінних умовах (але це можливо здійснити далеко не завжди).

Детальніше розглянемо аналітичну обробку результатів експерименту. Нехай в процесі деякого експерименту було зроблено  $n$  вимірювань одного параметра. Знайдемо його середньоарифметичне значення

$$a_{\text{сер}} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}, \quad (3.27)$$

де  $a_1, \dots, a_n$  – значення окремих вимірювань.

Кожне значення параметра, знайдене в процесі вимірювань, відхиляється від його середньоарифметичного значення на деяку величину  $\Delta a$  ( $\Delta a_1, \Delta a_2, \dots, \Delta a_n$ ). Тоді середньоарифметичне значення цих відхилень

$$\Delta a_{\text{сер}} = \frac{|\Delta a_1| + |\Delta a_2| + |\Delta a_3| + \dots + |\Delta a_n|}{n}. \quad (3.28)$$

Відносна похибка вимірювання, %

$$\delta = \frac{\Delta a_{\text{сер}}}{a_{\text{сер}}} \cdot 100. \quad (3.29)$$

Якщо йдеться про аналітичній вираз експериментальних кривих, то в





$x_i, y_i$  – значення параметрів при  $i$ -му вимірюванні.

При цьому значення  $r$  завжди менше від одиниці. Коли  $r > 0,15$ , то зв'язок вважається задовільним, а якщо  $r < 0,5$ , то регресію треба визнати нелінійною.

При  $r > 0,5$  рівняння регресії можна записати у вигляді

$$y = ax + b. \quad (3.33)$$

Значення коефіцієнтів  $a$  та  $b$ , як правило, обчислюють за такими формулами:

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad (3.34)$$

$$b = \frac{\sum y_i}{n} - a \frac{\sum x_i}{n}. \quad (3.35)$$

У деяких випадках аналогічну залежність доцільно замінити іншою, простішою, функцією. Така заміна називається **апроксимацією** (від лат. *approximare* - наближення) (див.рис.3.3).

Існує декілька критеріїв такої апроксимації. Серед них найпоширенішим є **метод найменших квадратів**. Згідно з цим методом найкраща апроксимація буде тоді, коли сума квадратів відхилень експериментальних точок від розрахованих буде мінімальною, тобто

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - y_0)^2 = Q_{\min}, \quad (3.36)$$

де  $y_i, y_0$  – відповідно, виміряне і дійсне значення змінної.

При обробці результатів експерименту іноді доводиться визначити певні проміжні значення досліджуваної функції, які не були визначені безпосередньо, і при цьому відсутня апроксимувальна функція. Такий процес називається **інтерполяцією** (від лат. *interpolatio* – зміна, викривлення).

Однією з найпоширеніших формул для виконання такої дії є інтерполяційна формула Лагранжа:

$$y = y_1 \frac{(x - x_2)(x - x_3) \dots (x - x_n)}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3) \dots (x_1 - x_n)} + y_2 \frac{(x - x_1)(x - x_3) \dots (x - x_n)}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3) \dots (x_2 - x_n)} + \dots + y_n \frac{(x - x_1)(x - x_2) \dots (x - x_{n-1})}{(x_n - x_1)(x_n - x_2) \dots (x_n - x_{n-1})}, \quad (3.37)$$

де  $y$  – шукане значення функції;

$x$  – відповідне значення аргументу;

$x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n$  – сукупність значень, отриманих у процесі експерименту.

Якщо відома крива, яка відповідає певному діапазону досліджуваного параметра, і потрібно поширити результати дослідження за межі цього діапазону, то проводять **екстраполяцію** (від лат. *extrapolare* – робити гла-

деньким, обробляти). Приклад екстраполяції кривої для знаходження значення  $y_{n+1}$  при  $x_{n+1}$  показаний на рис. 3.5.

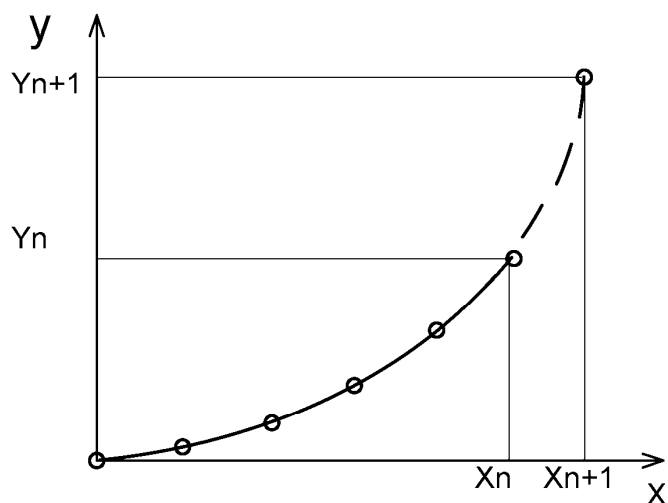


Рисунок 3.5 – Екстраполяція кривої результату експерименту

Екстраполяція можлива далеко не завжди, а лише тоді, коли є повна впевненість у плавній зміні кривої за межами досліджуваного діапазону параметрів.

У процесі експериментальних досліджень отримують статистичний ряд вимірювань двох величин, коли кожному значенню функції  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , відповідає цілком певне значення аргументу  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . На основі експериментальних даних можна підібрати алгебраїчний вираз функції  $Y=f(x)$ . Такі формули називають емпіричними і добирають лише в межах виміряних значень аргументу  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Потреба складати наближені емпіричні формули виникає в багатьох випадках (наприклад, коли аналітичний вираз, що описує систему, занадто складний, потребує громіздких обчислень і створення відповідних програм або взагалі не існує аналітичного виразу функції).

Процес добору емпіричних формул складається з двох етапів.

Етап 1-й. Дані вимірювань наносять на сітку прямокутних координат, з'єднують експериментальні точки плавною кривою і добирають орієнтовно вид формули.

Етап 2-й. Обчислюють параметри формул, які найкращим чином відповідають підбраній формулі. Добір емпіричних формул слід починати з найпростіших виразів, наприклад, результати вимірювання багатьох явищ і процесів апроксимують найпростішими емпіричними рівняннями прямих.

Тому при аналізі графічного матеріалу необхідно, по можливості, використовувати лінійні функції. З цією метою застосовують *метод вирівнювання*, який полягає в тому, що криву, побудовану за експериментальними точками, іноді зображують лінійною функцією.

### 3.9 Складання звітів про науково-дослідні роботи і публікація їх

## результатів

Основним документом про виконану роботу є звіт, який з вичерпною повнотою має відбивати зміст і всі проміжні та остаточні результати роботи.

Складання звіту – це невіддільна частина наукового дослідження, творчий процес.

Вимоги до складання звіту про НДР зумовлюються ГОСТ 19600-74 і враховують досвід роботи щодо складання звітів практично в усіх галузях науки й техніки. Виконання цих вимог є обов'язковим.

Звіт має бути розрахований на широке коло користувачів, кожний з яких повинен легко добувати зі звіту будь-яку потрібну інформацію.

Складаючи звіт, слід дотримуватись:

- чіткості побудови;
- логічної послідовності викладення матеріалу;
- переконливості аргументації, стислості та точності формулювання, що виключало б суб'єктивність і неоднозначність тлумачення;
- конкретності викладення результатів роботи;
- доказовості висновків і обґрунтованості рекомендацій.

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- список виконавців;
- реферат;
- зміст;
- перелік скорочень, символів, спеціальних термінів з їх означеннями;
- основну частину;
- список літератури;
- додатки.

Реферат має дуже стисло відбивати головний зміст проведеної НДР, не підміняючи основного звіту. У ньому коротко подаються відомості про виконану роботу, достатні для того, щоб судити про доцільність звернення до первинного документа – звіту. Реферат вміщує відомості про обсяг звіту, кількість і характер ілюстрацій та кількість таблиць, перелік ключових слів. У рефераті вказується також вид звіту (проміжний чи остаточний).

Відомості про кількість ілюстрацій супроводжуються вказівками щодо їх характеру (схеми, креслення, графіки, фотокартки).

У наш час у багатьох організаціях та установах введені автоматизовані системи пошуку інформації. Тому в рефераті наводяться ключові слова (іменники або словосполучення з іменниками), що виражають окремі поняття, істотні для розкриття змісту тексту. Ключові слова в сукупності повинні дати поза контекстом досить повне уявлення про зміст звіту. Перелік їх (від 5 до 15) друкується в рядок через коми, в називному відмінку.

Текст реферату містить в собі основну частину, яка відбиває суть ви-

конаної роботи та методи дослідження, технічні характеристики розробленого приладу або параметри матеріалу, процесу тощо, а також короткі висновки відносно особливостей, ефективності, можливостей і галузей застосування здобутих результатів.

Обсяг реферату повинен бути меншим ніж 500 знаків. Як показує практика проведення НДР, оптимальний обсяг реферату становить, як правило, 1100-1200 знаків. У рефераті не можна застосовувати будь-які скорочення слів і термінів, крім загальноприйнятих.

Основна частина звіту складається із вступу, аналітичного огляду стану питання, обґрунтування вибраного напрямку роботи, розділів, що характеризують методику, зміст, результати виконаної праці, а також завершення, де подаються висновки і пропозиції.

Вступ має характеризувати сучасний стан проблеми, якій присвячено роботу, а також її мету, містити в собі максимум корисних відомостей (часто вступ разом із завершенням становить для окремих користувачів самостійний інтерес). Тут треба чітко сформулювати, в чому полягає новизна роботи, та вказати сподіваний або очікуваний економічний ефект.

Аналітичний огляд повинен повно і систематизовано висвітлювати стан питання, якому присвячено роботу. По суті, це огляд літератури і водночас її аналіз. Аналізуються ідеї та проблеми, можливі підходи до розв'язування задачі, результати теоретичних пошуків та експериментів за темою і результати патентних досліджень. В огляді треба окреслити основні проблеми та намічені шляхи до їх вирішення. Огляд повинен завершуватися рекомендаціями щодо теоретичних наукових досліджень.

В обґрунтуванні вибраного напрямку роботи слід показати його переваги порівняно з іншими можливими. Обґрунтування напрямку та робоча гіпотеза мають опиратися на рекомендації огляду. Перевага обраного методу повинна оцінюватися як з наукового, так і з економічного боку.

У розділах звіту, що відбивають методику, зміст і результати виконаної роботи, детально та послідовно розкривається зміст виконаної НДР і описуються всі проміжні та остаточні результати, у тому числі негативні. Методика дослідження повинна подаватися детально з обґрунтуванням її вибору.

Описуючи той чи інший експеримент, слід подавати відповідну програму, висвітлювати його суть, оцінювати точність і достовірність отриманих результатів, які порівнюються з теоретичними.

Наприкінці розділу необхідно пояснити одержані результати й описати їх можливе застосування. Отримані математичні залежності рекомендується ілюструвати прикладами конкретних розрахунків.

Завершення повинно містити в собі оцінку результатів роботи. У ньому намічаються шляхи та мета подальшої роботи (у разі потреби мотивується недоцільність її продовження), а також зазначається, чим закінчилася дослідницька робота (отримано наукові результати про нові об'єкти,

процеси, явища та закономірності, розроблено наукові основи певної теорії тощо).

У додатки включається допоміжний матеріал, оригінали або копії креслень, виконаних в процесі НДР.

Під час оформлення звіту треба керуватися “Методичними вказівками до складання звітів про науково-дослідні роботи”.

Звіт повинен бути написаний простою мовою, щоб його міг зрозуміти спеціаліст не тільки даної, а й суміжної галузі. Термінологія, найменування, означення та зміст понять мають бути незмінними у всьому тексті. Не слід вживати вирази типу “добра відповідальність”, “достатня точність”, складні мовні звороти, ненормативні вирази, професіоналізми і т. ін. Умовні позначення термінів також повинні бути однотипними. Усі скорочення необхідно розкривати тоді, коли їх вжито вперше.

Назви іноземних журналів, іноземних фірм пишуть як в українській транскрипції, так і мовою оригіналу (у дужках).

Математичні знаки слід використовувати лише в формулах. У тексті вони подаються словами, тобто записують не “ $U=15\text{ В}$ ”, а “напруга дорівнює 15 В”. Винятком можуть бути лише знаки “+” і “-” біля цифр (наприклад, “+ 15 °C”). Знаки №, §, % і т. ін. використовуються тільки разом з цифровими або буквеними позначеннями (наприклад, “№1”). Числа при одиницях фізичних величин слід писати тільки цифрами (наприклад, “температура 13 °C”).

Основні розділи розбивають на підрозділи, параграфи та пункти. Розділи, підрозділи та пункти нумеруються арабськими цифрами (наприклад, 1.3.5 – п’ятий пункт третього підрозділу першого розділу).

Нумерація сторінок звіту має бути наскрізною, перша сторінка – титульний лист, друга – список виконавців, третя – реферат, четверта – зміст. Нумерація сторінок подається арабськими цифрами у правому верхньому кутку. На сторінках, зайнятих рисунками, номер сторінки можна не проставляти, але краще за все нумерувати всі аркуші.

Цифровий матеріал звіту рекомендується оформляти у вигляді таблиць. Тут у стислій і наочній формі подаються порівняльний аналіз, порівняльні характеристики, статистична інформація. Таблиця повинна мати тематичний заголовок, який розкриває її зміст, і розміщуватися в тексті відразу після згадки про неї.

Рисунки мають доповнювати текст і нести нову інформацію. Формат їх не повинен перебільшувати формат стандартного аркуша 210×297 мм.

Усі формули мають вписуватися розбірливо й акуратно, нормальним шрифтом, символи в них рекомендується брати згідно з відповідними стандартами.

Якщо в тексті є посилання на формули, то останні нумеруються або наскрізно, або в межах розділу.

Неприпустимі дрібний шрифт (петит), близьке розташування знаків

один від одного та недбалість при їх написанні.

Список літератури містить у собі всі використані джерела, у тому числі директивні документи. Вони розташовуються у порядку появи посилання на них в тексті звіту. Відомості про книжки повинні містити прізвище та ініціали автора, назву книжки, місто видання, видавництво й рік видання, кількісну характеристику (обсяг у сторінках і кількість ілюстрованого матеріалу) і повністю відповідати ГОСТ 7.1-84 “Бібліографічний опис документа”.

### 3.10 Складання і подання заявки на винахід

**Відкриття** – це встановлення науково обґрунтованого факту, про який ще не знало людство. Проте до відкриття найкращі вчені можуть наближатись усе свідоме життя. Відкриттю передують важка розумова праця, глибокі фундаментальні дослідження, серйозна теоретична підготовка вченого в тій чи іншій галузі знань. При цьому далеко не кожна країна може дати хоч одне відкриття на рік. За глобальні відкриття з фундаментальних наук (хімія, фізика, біологія), як правило, вчених нагороджують Нобелівською премією.

Удосконалення способу чи продукту (пристрою, речовини тощо) вважається **винаходом**. **Пріоритет** відкриття або винаходу визначається за датою, коли вперше сформульовано наукове положення, що заявлено як відкриття або винахід (наприклад, у звіті про науково-дослідну роботу), або за датою доведення його іншим шляхом до третіх осіб (наприклад, на науковому симпозіумі), або за датою надходження заявки в патентну установу [23].

Україна славиться своїми винахідниками. Вітчизняні “славні Едісо-ни” – це професори Скрипник Ю.О., Кожем’яко В.П. та інші, що мають понад 500 винаходів і внесли достойний вклад у наукову скарбницю людства, у справу збільшення знань і інформації про навколишній Всесвіт. Отже, молодим науковцям необхідно продовжувати їх благородну справу на благо нашої Вітчизни. Адже чим більше серйозних винаходів і відкриттів, тим багатшою ставатиме наша країна і кожен її громадянин зокрема.

Оформлення і реєстрація винаходів в нашій державі здійснюється згідно з “Правилами складання і подання заявки на винахід та заявки на корисну модель” [34] та Законом України “Про охорону прав на винаходи і корисні моделі”.

**Об’єктом винаходу** може бути:

- продукт (пристрій, речовина, штам мікроорганізму, культура клітин рослини і тварини);
- спосіб.

**Об’єктом корисної моделі** може бути конструктивне виконання

пристрою.

Об'єктом винаходу не можуть бути:

- відкриття, наукові теорії та математичні моделі;
- методи організації та управління підприємством;
- плани;
- умовні позначення, розклади, правила;
- методи виконання розумових операцій, способи досліджень, системи математичних побудов і перетворень, методи розрахунків, математичне розв'язування задач тощо;
- програми для обчислювальних машин;
- результати художнього конструювання;
- топології інтегральних мікросхем;
- сорти рослин і породи тварин.

До **пристроїв** як об'єктів винаходів (корисних моделей) належать машини, механізми, прилади тощо. Об'єктом корисної моделі може бути конструктивне виконання пристрою, яке повинно мати явно виражені просторові форми, тобто характеризуватись не лише наявністю елементів і зв'язків між ними, але й формою виконання цих елементів, їх певним взаємним розташуванням.

До **речовин** як об'єктів винаходів належать індивідуальні хімічні сполуки, до яких також умовно віднесені високомолекулярні сполуки та об'єкти генетичної інженерії; композиції (сполуки, суміші, розчини, сплави тощо); продукти ядерного перетворення.

Об'єкт винаходу “штам мікроорганізму, культури клітин рослини і тварини” це: індивідуальні штами мікроорганізмів, культивовані клітини рослин і тварин; консорціуми мікроорганізмів.

До **способів** як об'єктів винаходів належать процеси виконання дій над матеріальними об'єктами за допомогою матеріальних об'єктів.

Для характеристики об'єкта винаходу як “пристрою” використовують такі ознаки:

- наявність конструктивного (конструктивних) елемента (елементів);
- наявність зв'язків між елементами;
- взаємне розташування елементів;
- форма виконання елемента (елементів) або пристрою в цілому;
- форма виконання зв'язків між елементами;
- параметри та інші характеристики елемента (елементів та їх взаємозв'язок);
- матеріал, з якого виготовлено елемент (елементи), або пристрій в цілому, середовище, що виконує функцію елемента.

Для характеристики об'єкта винаходу як “речовини” для індивідуальних хімічних сполук використовують такі ознаки: якісний склад (атоми певних речовин), кількісний склад (число атомів кожного елемента),

зв'язок між атомами, взаємне розташування їх у молекулі, виражене хімічною структурою формули (для низькомолекулярних сполук), чи в кристалічній решітці.

Для характеристики об'єкта винаходу як "способу" використовують такі ознаки:

- наявність дії або сукупності дій;
- порядок проведення таких дій у часі (попередньо, одночасно, в різних поєднаннях);
- умови виконання дій: режим, використання речовин (вихідної сировини, реагентів, каталізаторів тощо), пристроїв (приспосовань, інструментів, обладнання тощо), штамів мікроорганізмів, культивованих рослин чи тварин.

**Спосіб** як об'єкт винаходу характеризується лише діями над матеріальними об'єктами (сировиною, заготовкою тощо).

**Заявку на видачу патенту на винахід (корисну модель)** може до Укрпатенту (державне підприємство "Український інститут промислової власності" МОНУ, уповноважене для розгляду і проведення експертизи заявок) подати будь-яка особа, яка бажає отримати патент і має на це право.

Заявку складають українською мовою. Якщо деякі документи заявки викладено іншою мовою, то слід надіслати переклад цих документів.

Заявка (тобто сукупність документів, необхідних для видачі патенту) повинна містити:

- заяву про видачу патенту (деклараційного патенту) України на винахід чи деклараційного патенту України на корисну модель;
- опис винаходу (корисної моделі);
- формулу винаходу (корисної моделі);
- креслення (якщо на них є посилання в описі);
- реферат.

**Опис винаходу (корисної моделі)** повинен підтверджувати обсяг правової охорони, визначений формулою винаходу (корисної моделі) і настільки ясним і повним, щоб його міг зрозуміти фахівець у зазначеній галузі.

Опис починається із зазначення рубрики діючої редакції міжнародного патентного класифікатора (МПК), до якої належить винахід (корисна модель), назви винаходу і містить такі розділи:

- галузь техніки, до якої належить винахід (корисна модель);
- рівень техніки;
- суть винаходу (корисної моделі);
- перелік фігур креслення (якщо на них є посилання в описі);
- відомості, які підтверджують можливість здійснення винаходу (корисної моделі).

У розділі "Рівень техніки" наводять дані про відомі заявнику аналоги винаходу (корисної моделі) з виділенням серед них аналога, найбільш бли-



зького за сукупністю ознак до винаходу (корисної моделі). Суть винаходу (корисної моделі) визначається сукупністю суттєвих ознак, достатніх для досягнення технічного результату, що його забезпечує винахід (корисна модель). Ознаки належать до суттєвих, якщо вони впливають на технічний результат, якого можна досягти, тобто перебувають у причинно-наслідковому зв'язку із зазначеним результатом. У цьому розділі детально розкривають технічну задачу, на вирішення якої направлено винахід (корисну модель), та технічний результат, якого можна досягти при здійсненні винаходу (корисної моделі). У переліку фігур креслень, крім самого переліку фігур, наводять стислі пояснення того, що зображено на кожній з них. Відомості, які підтверджують можливість здійснення винаходу (корисної моделі), розкривають можливості отримання зазначеного у розділі “Суть винаходу (корисної моделі)” технічного результату при здійсненні винаходу (корисної моделі). Можливість здійснення винаходу, суть якого характеризують з використанням ознаки, яку подано загальним поняттям, зокрема на рівні функціонального узагальнення, підтверджують або описом засобу для реалізації цієї ознаки безпосередньо в матеріалах заявки, або посиланням на те, що такий засіб існує, чи методи його отримання. Опис винаходу (корисної моделі) підписує заявник у тому ж порядку, що й заяву на видачу патенту.

**Формула винаходу (корисної моделі)** – це стисла словесна характеристика технічної суті винаходу (корисної моделі), що містить сукупність його суттєвих ознак, які достатні для досягнення зазначеного заявником технічного результату. *У разі визнання об'єкта винаходом лише формула набуває правового значення і є єдиним критерієм визначення обсягу винаходу* (за нею встановлюється факт використання чи невикористання винаходу).

Формула винаходу (корисної моделі) повинна стисло і ясно відобразити суть винаходу (корисної моделі), тобто містити сукупність його суттєвих ознак, достатню для досягнення зазначеного заявником технічного результату. За структурою формула винаходу (корисної моделі) може бути одноланковою чи багатоланковою і включати, відповідно, один чи декілька пунктів. Одноланкову формулу винаходу (корисної моделі) застосовують для характеристики одного винаходу (корисної моделі) сукупністю суттєвих ознак, які не мають розвитку чи уточнення щодо окремих випадків його виконання або використання. Багатоланкову формулу винаходу (корисної моделі) застосовують для характеристики одного винаходу (корисної моделі) з розвитком і уточненням сукупності його ознак стосовно деяких випадків виконання і використання винаходу (корисної моделі) або для характеристики групи винаходів. Пункт формули винаходу (корисної моделі) складається, як правило, з *обмежувальної частини*, яка включає ознаки винаходу, які збігаються з ознаками найближчого аналога, у тому числі родове поняття, що характеризує призначення об'єкта, та *розрізня-*

*льної (відмітної) частини*, яка включає ознаки, що відрізняють винахід від найближчого аналога.

Обмежувальна й розрізняльна (відмітна) частини пункту формули відокремлюються одна від одної виразом “*який (яка, яке) відрізняється тим, що...*”

Без поділу на обмежувальну й відмітну частини, зокрема, складають формулу винаходу, яка характеризує:

- унікальну сполуку;
- штам мікроорганізму, культури клітин рослин і тварин;
- застосування раніше відомого продукту чи способу за новим призначенням;
- винахід, що не має аналогів.

### **3.11 Публікація наукових матеріалів**

Для того, щоб ознайомити широку наукову громадськість і фахівців-практиків з результатами проведених науково-дослідних робіт, використовують публікації в спеціальних і науково-популярних виданнях. До таких публікацій належать монографії, брошури, статті, підручники та навчальні посібники, які містять нові наукові результати та конкретні пропозиції щодо їх використання (з огляду на їх важливе теоретичне та практичне значення).

Для того, щоб підготувати матеріал до друку, спочатку складають план-проспект і систематизують результати дослідження (другорядні та вже надруковані раніше відомості не повинні розміщуватися в підготовлюваних виданнях). Далі згідно з вимогами видання компонується необхідний матеріал, викладений лаконічною науковою мовою, з використанням строго наукової термінології, завдяки якій вдається давати чіткі означення та характеристики наукових фактів, понять, процесів і явищ.

В окремих випадках дослідник доповідає про результати своєї роботи на наукових конференціях, симпозіумах чи наукових семінарах, в колі провідних вчених і спеціалістів. Таким доповідям, як правило, передують публікації відповідних тез (стислий виклад суті майбутнього повідомлення). Це дає змогу фахівцям підготуватися до обговорення наукового повідомлення.

### **3.12 Впровадження закінчених науково-дослідних робіт**

Впровадження результатів закінчених НДР у практику виробництва або навчальний процес є важливим етапом, який завершує дослідження та визначає його ефективність. Фахівцям виробництва або освіти передається наукова продукція у вигляді звітів, інструкцій, технічних умов чи проектів, завдяки чому практично реалізуються результати НДР.

Процес впровадження НДР у виробництво складається з двох етапів: **дослідно-виробничого** та **серійного**.

На першому етапі у виробничих умовах перевіряється робота дослідних зразків, виробів або установок, технологічних процесів, конструкцій, матеріалів і приладів, їх стійкість щодо дії реальних величин вібрації, поштовхів, пилу та інших виробничих факторів. Усе це дуже важко передбачити або відтворити в лабораторних умовах.

За результатами дослідно-виробничої експлуатації роблять остаточні висновки про правильність розрахунків і конструкторських розробок, оцінюють техніко-економічну ефективність прийнятих рішень, експлуатаційні показники, надійність, довговічність тощо. У разі потреби в дослідний зразок вносяться зміни та доробки.

Коли етап закінчено, доопрацьовується необхідна технічна документація, яка передається підприємству для організації серійного виробництва (якщо йдеться про нові прилади, установки і зразки) або впровадження (якщо йдеться про нові технології). На етапі серійного впровадження дослідник вже не бере безпосередньої участі в ньому, але, на прохання впроваджувальної установи, може бути консультантом. Як правило, впровадження закінчених НДР у виробництво триває від 1 до 5 років. Скорочення цього терміну є найважливішою вимогою сьогодення.

### **3.13 Ефективність наукових досліджень**

Точне оцінювання ефективності наукових досліджень є справою дуже важкою, особливо щодо кількісних оцінок. Адже будь-яку НДР треба розглядати з різних точок зору, оцінюючи їх науково-пізнавальну, соціальну, техніко-економічну, педагогічну, виховну та естетико-емоційну значимість.

У загальному вигляді критерії ефективності наукових досліджень повинні включати в себе оцінку продуктивності та результативності праці вченого.

Коли дається оцінка ефективності НДР, то при цьому оцінюються наукова значимість виконаної роботи, обсяг наукової продукції, технічна цінність результатів, освоєні фінансові ресурси й масштаби реалізації НДР у народному господарстві.

Ефективність праці наукового співробітника можна оцінити різними критеріями – кількістю публікацій, економічною ефективністю, новизною розробок, частотою цитування праць.

Як економічний критерій оцінки праці вченого часто використовується показник продуктивності його праці або виробіток (у тисячах гривень кошторисної вартості НДР).

**Критерій продуктивності праці** вченого можна визначити, наприклад, так:

$$k_n = \frac{C_0}{P}, \quad (3.38)$$

де  $C_0$  - загальна кошторисна вартість НДР і ДКР, тис.грн.;

$P$  – середньоспискова кількість робітників основного та допоміжного персоналу відділу, кафедри, лабораторії чи НДІ. Як правило, цей критерій розраховується за рік.

**Критерій новизни НДР** визначають кількістю авторських свідоцтв і патентів, отриманих за її результатами, а **критерій цитування праць** вченого – кількістю посилань на його друковані роботи.

**Ефективність впровадження результатів закінчених НДР** може виражатися в одній із таких форм:

- економічний ефект, який, в свою чергу, відбиває зростання національного доходу, підвищення продуктивності чи економії суспільної праці, якості продукції, її надійності та довговічності, зниження собівартості виробів тощо;
- соціальний ефект, пов'язаний з поліпшенням умов праці, її санітарно-гігієнічних умов, покращенням екологічної обстановки, усуненням виробничого травматизму, зменшенням професійних захворювань і т. ін.;
- зміцнення обороноздатності країни, розробка нових видів зброї, систем і приладів, спеціальних матеріалів і т. ін.;
- підвищення престижу вітчизняної науки.

НДР у галузі екології мають найчастіше перспективний характер, оскільки на екологічні дослідження держава на даному етапі виділяє недостатньо коштів.

Отже, явно виражений техніко-економічний ефект може бути визначений тільки для першого випадку впровадження результатів НДР.

Найбільшу ефективність мають прикладні дослідження (хоча оцінюється економічна ефективність не безпосередньо наукової продукції, а результатів її використання).

Фундаментальні теоретичні дослідження дуже важко оцінювати кількісними критеріями, а тому для їх оцінювання користуються головним чином якісними критеріями, наприклад, такими, як можливість використання результатів цих НДР у різних галузях народного господарства та можливість розвитку на їх базі прикладних досліджень, новизна відкритих і досліджуваних явищ. Проте остаточно ефективність фундаментальних досліджень рано чи пізно зводиться до економічних показників.

Останнім часом під впливом загальносоціальних, економічних і внутрішньонаукових факторів постійно зростають масштаби та швидкість реалізації результатів НДР.

Розрізняють три види економічної ефективності (економічного ефекту) науково-дослідних робіт.

Перший – так званий **попередній економічний ефект**, який дослід-

ник розраховує, вибираючи тему та розробляючи план виконання НДР. При цьому він орієнтується на округлені, чисто орієнтовні показники й враховує прогнозований обсяг результатів НДР.

Другий – *сподіваний економічний ефект*, який спостерігається вже на етапі впровадження НДР. Він розрахований на певний період часу (звичайно беруть один рік, а іноді – 5 чи 10 років).

Цей вид економічного ефекту також є орієнтовним показником (на цьому етапі немає змоги точно встановити обсяг впровадження), але він точніший за попередній.

Третій вид ефективності – *фактичний економічний ефект*, який є найточнішим і визначається після практичного впровадження результатів НДР у виробництво (але не раніше як через один рік). Тут до уваги беруться фактичні витрати на виконання НДР і їх впровадження.

Фактичний економічний ефект здебільшого нижчий від сподіваного.

Економічна ефективність обчислюється за формулою

$$k_c = \frac{E}{B}, \quad (3.39)$$

де  $E$  – економічний ефект від провадження результатів наукових досліджень в грошовому вираженні;  
 $B$  – витрати на виконання і впровадження НДР у тих самих грошових одиницях.

$$E = B_1 - B_2, \quad (3.40)$$

де  $B_1$  – зведені витрати при старих експлуатаційних процесах, установках, приладах, пристосуваннях, технології тощо;  
 $B_2$  – те саме, але при нових зразках чи процесах, отриманих у результаті впровадження НДР.

Зведені витрати  $B_1$  і  $B_2$  обчислюють за такими формулами:

$$B_1 = C_1 + E_H K_1; \quad (3.41)$$

$$B_2 = C_2 + E_H K_2; \quad (3.42)$$

Тут  $C_1$  і  $C_2$  вартість одиниці продукції, відповідно, старого та нового варіантів;  $K_1$  і  $K_2$  – капітальне вкладення на одиницю продукції, відповідно, старого та нового варіантів;  $E_H$  – галузевий нормативний безрозмірний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень, який знаходиться в межах 0,06...0,12.

Якщо результати наукових досліджень продані за кордон, то економічна ефективність оцінюється за формулою:

$$k_1 = \frac{ВП}{\sum B}, \quad (3.43)$$

де  $ВП$  – валютний прибуток держави;  
 $\sum B$  – сумарні витрати на проведення НДР, оформлення та продаж ліцензії.

З економічною ефективністю науки тісно пов'язані висока ефектив-

ність науково-технічної підготовки спеціалістів, пропаганда та поширення наукових знань. Як правило, ефективність праці випускника вищої школи перевищує всі витрати на його навчання не менше як в 10 разів.

У сучасному світі немає вигіднішої сфери розміщення капіталу, ніж наука. Тепер 1 грн., вкладена у науку або підвищення наукових знань, забезпечує 3-5 грн. національного доходу країни. У США на один вкладений в науку долар отримують прибуток у сумі 20-50 доларів.

Наука забезпечує можливість широкого використання сил природи на користь людству, наприклад, енергії сонця, вітру, пари, води тощо.

Витрати на нову техніку та технологію окуповуються дуже швидко. Засоби виробництва, створені на основі науки, дають прибутки, які в багато разів перевищують їх собівартість та витрати на їх створення. Зауважимо також, що висока економічна ефективність науки зумовлюється низькою собівартістю наукових відкриттів, їх винятковою довговічністю та розвитком.

Визначити ефективність природоохоронних наукових проектів вдається, якщо вдається розділити ефективність витрат і ефективність самого заходу.

За метою ефективність природоохоронної діяльності поділяється на ефективність природоохоронних заходів і ефективність витрат на них.

**Ефективність витрат** відбиває ефективність заходу за умови екологічної ефективності:

$$V_{\text{факт}} \leq \Delta H, \quad (3.44)$$

де  $V_{\text{факт}}$  – фактичні втрати;

$\Delta H$  – норматив екологічного навантаження.

Для сучасної техніки і технології з упереджувальним ефектом **абсолютна ефективність природоохоронних заходів** (проектів) розраховується за виразом:

$$(\Delta H - V_{\text{факт}}) \geq 0, \quad (3.45)$$

**а відносна ефективність:**

$$\frac{V_{\text{факт}}}{\Delta H} \leq 1. \quad (3.46)$$

Для технологій, що виключають втрати, ефективність природоохоронних проектів досягається за умови:

$$V_{\text{факт}} D \leq H_{\text{факт}}, \quad (3.47)$$

де  $H_{\text{факт}}$  – фактичний результат заходу щодо знезараження токсичних відходів;

$V_{\text{факт}} D$  – нормативна частка участі очисних знезаражувальних споруд, відновного процесу підприємств в регіоні тощо.

**Абсолютна ефективність процесу знезараження та відновлення**

**екологічних систем** визначається за виразом:

$$(H_{\text{факт}} - B_{\text{факт}}D) \geq 0, \quad (3.48)$$

а відносна ефективність відповідно нормативній базі визначається:

$$\frac{H_{\text{факт}}}{B_{\text{факт}}D} > 1. \quad (3.49)$$

Норматив екологічного навантаження в результаті здійснення природоохоронних та енергозберігаючих проектів є та критична маса, за рамками якої біогеотехнічна система завжди неефективна, а можлива прибутковість інвестицій свідчить тільки про раціональне їх використання, відбиваючи при цьому неефективність самого заходу (проекту), тобто  $B_{\text{факт}} > \Delta H$ .

Втрати за рамками нормативного навантаження компенсуються з прибутку ( $\Pi$ ) і виробництво на цій території доцільне, якщо  $(\Pi - B_{\text{штраф}}) > 0$ , де  $B_{\text{штраф}}$  – штраф щодо компенсації надлімітної антропогенної дії.

За вказаними вище формулами розраховується ефективність комплексу багатоцільових природоохоронних наукових проектів для об'єкта в цілому. Проте розрахунок лиш на деякому рівні системи, відбиваючи діалектику взаємозв'язку з конкретною територією, дає виважену оцінку екологічної ефективності НДР для окремо взятої технологічної лінії, механізму, машини тощо. В цьому випадку екологічна ефективність підвищується, якщо передбачається відновлення території, наприклад, рекультивация земель, знешкодження токсичних відходів тощо.

### ***Контрольні питання для самостійної роботи студентів***

1. Дайте означення категорії “експеримент”.
2. Яка мета експерименту?
3. Які завдання висувуються до експериментальних досліджень?
4. Яка роль експерименту у науці і техніці?
5. В чому відмінність натурального і модельного експериментів?
6. Охарактеризуйте методи експериментальної інформатики.
7. Яке обладнання використовують під час експериментальних досліджень?
8. Що таке “експериментальний зразок”?
9. Що таке “реплікація”?
10. Що таке “експериментальна установка”?
11. Що означає поняття “багатофакторний експеримент”?
12. В якому вигляді представляють дані експерименту?
13. Назвіть основні етапи експерименту.
14. Чим відрізняється активний експеримент від пасивного?
15. Що таке статичні і динамічні, а також прямі і непрямі вимірювання?

16. Які бувають засоби вимірювання?
17. Що таке абсолютна і відносна, а також систематична і випадкова похибки?
18. Чим відрізняється похибка від помилки, промаху?
19. Що таке довірчий інтервал?
20. Як виключити “грубі” результати?
21. Які методи обробки експериментальної інформації Ви знаєте?
22. В чому суть кореляційного аналізу?
23. Що таке апроксимація, інтерполяція та екстраполяція?
24. Яким чином здійснюється аналіз та оформлення результатів експерименту?
25. Що таке “достовірність” отриманих результатів і як вона визначається?
26. Як складається звіт про науково-дослідну роботу?
27. Що таке реферат НДР?
28. Для чого публікуються наукові матеріали?
29. У вигляді яких публікацій представляються результати проведених НДР?
30. Назвіть особливості наукових конференцій, симпозіумів та наукових семінарів.
31. Як впроваджуються результати НДР?
32. Наведіть критерії ефективності наукових досліджень.
33. Як здійснюється розрахунок економічної ефективності НДР?
34. В чому полягає розрахунок ефективності природоохоронних проєктів?

Петрук В.Г., Володарський Є.Т., Мокін В.Б. Основи науково-дослідної роботи. Навчальний посібник /Під ред. д.т.н., проф. Петрука В. Г.– Вінниця: ВНТУ, 2005. – 143 с.