

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Інститут енергетики та комп'ютерно-інтегрованих систем управління

Кафедра теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

З ДИСЦИПЛІНИ «ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»

для студентів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти

по спеціальності – 144 Теплоенергетика

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Інститут енергетики та комп'ютерно-інтегрованих систем управління

Кафедра теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій

Конспект лекцій

З дисципліни «Організація та проведення наукових досліджень»

для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
по спеціальності – 144 Теплоенергетика

Затверджено на засіданні
кафедри ТЕСЕТ
Протокол №__ від _____ 2021 р.

Конспект лекцій з дисципліни «Організація та проведення наукових досліджень» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня освіти по спеціальності – 144 Теплоенергетика, / Укл: Баласанян Г.А., Одеса, ДУ «Одеська політехніка», 85 с.

Укладач: Баласанян Г.А. д.т.н., проф.

Рецензент: Мазуренко А.С. д.т.н.

Конспект лекцій розроблено з метою забезпечення високого рівня знань майбутніх фахівців з теплоенергетики.

У конспекті лекцій висвітлено основні питання методики та організації науково-дослідної діяльності. Викладено поняття, принципи, особливості планування, методи, структуру і технології теоретичних та експериментальних досліджень. Акцентовано на системному підході як напрямі наукового пізнання.

Конспект лекцій адресовано аспірантам зі спеціальності «Теплоенергетика». Прислужиться викладачам, аспірантам, молодим науковцям.

ЗМІСТ

Вступ	5
1. ВИБІР НАПРЯМУ ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	6
1.1. Загальні визначення та поняття наукового дослідження	6
1.2. Вибір напрямку і теми наукового дослідження	7
1.3. Визначення предмета і об'єкта дослідження. Мета і завдання дослідження	10
1.4. Порядок здійснення наукового дослідження. Поняття, функції та структура програми дослідження	11
1.5. Послідовність та етапи виконання наукових досліджень	13
2. ДОСЛІДНИЦЬКІ ПРИНЦИПИ НАУКИ. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ	14
2.1. Принципи та методи наукового пізнання	14
2.2. Рівні методів наукових досліджень	17
3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	19
3.1. Завдання і структура теоретичних досліджень	19
3.2. Сучасні методи теоретичних досліджень	20
3.3. Застосування ЕОМ у теоретичних дослідженнях	26
4. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД, ЙОГО МІСЦЕ ТА РОЛЬ У НАУКОВОМУ ПІЗНАННІ	28
4.1. Системний підхід	28
4.2. Сутність системного аналізу та його предмет	30
4.3. Поняття системи та її властивості	34
4.4. Класифікація систем	39
4.5. Зв'язки (потоки). Види зв'язків	41
4.6. Сутність методу моделювання	43
4.7. Основні функції та етапи побудови моделей систем	44
4.8. Класифікація моделей	46
5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	48
5.1. Сутність експерименту, загальні вимоги до проведення	48
5.2. Класифікація експериментів	49
5.3. Етапи підготовки наукового експерименту	53
5.4. Класична методика планування експериментальних досліджень	55
5.5. Визначення основних статистичних характеристик вибіркової сукупності	56

5.6. Апроксимація результатів експериментальних досліджень	60
5.7. Регресивний аналіз результатів експериментальних досліджень	62
5.8. Комп'ютерні технології та інструментарій у наукових дослідженнях	63
6. ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА АНАЛІЗ ЙОГО РЕЗУЛЬТАТІВ	65
6.1. Сутність математичного планування експерименту	65
6.2. Повні факторні плани	67
6.3. Методика обробки результатів експерименту за повними факторними планами	69
6.4. Аналіз одержаних результатів	72
6.5. Оптимізація результатів багатфакторного експерименту	74
7. ТЕХНОЛОГІЯ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ. ЗВІТНІСТЬ З НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	76
7.1. Загальна характеристика процесів наукового дослідження. Технологія наукової діяльності	76
7.2. Структура наукового дослідження	80
7.3. Оформлення звітів про результати наукової роботи	81
Література	84

Вступ

Сучасний етап науково-технічного розвитку суспільства висуває нові, набагато вищі вимоги до творчого потенціалу фахівців, що передбачає володіння новими науковими методами, вміння орієнтуватися в потоці наукової інформації, знаходити найраціональніші конструкторські, технологічні й організаційні рішення.

Перед спеціалістами з напрямку підготовки «Теплоенергетика» все частіше постають завдання, які вимагають, окрім фахової кваліфікації, знання методів опрацювання результатів спостережень, планування експериментів, математичних методів моделювання та оптимізації процесів дослідження. Отже, сучасний фахівець повинен мати не тільки глибоку професійну підготовку, а й певний обсяг знань у галузі наукових досліджень, що передбачає засвоєння методологічних засад наукової праці, уміння збирати і опрацьовувати інформацію, розробляти програми наукових досліджень, аналізувати одержані результати та оформляти їх у вигляді наукового звіту.

Поряд із практичними вміннями здійснювати наукове дослідження, необхідною умовою ефективної та успішної наукової діяльності є готовність особистості до науково-дослідної роботи, її пошукова активність, продуктивна дослідницька поведінка, стійке прагнення до творчого наукового пошуку та комплекс індивідуально-психологічних і характерологічних особливостей, що забезпечить високу ефективність її професійного функціонування.

Мета пропонованого конспекту лекцій полягає у висвітленні методико- організаційних засад науково-дослідної діяльності, що сприятиме орієнтації в складному процесі наукового дослідження. Контент конспекту вміщує розгляд важливих питань: вибір напрямку та послідовність наукових досліджень; дослідницькі принципи науки; методи наукового пізнання; місце та роль системного підходу в науковому пізнанні; наукове мислення в організації та проведенні наукових досліджень; основи теоретичних та експериментальних досліджень; планування експерименту й аналіз його результатів.

1. Вибір напрямку та послідовність наукових досліджень

1.1. Загальні визначення та поняття наукових досліджень

Мета наукового дослідження – це всебічне та достовірне вивчення об'єкта, процесу або явища, їх структури, зв'язків та співвідношення на основі наукових принципів і методів пізнання, а також отримання і впровадження корисних результатів.

Будь-яке наукове дослідження має свій об'єкт і предмет дослідження.

Об'єкт дослідження – це матеріальна або ідеальна система.

Предмет дослідження – це структура системи, закономірності взаємодії елементів у середині системи і поза нею, закономірність її розвитку, різні властивості та якості цієї системи.

Науковий напрям – це наука або комплекс наук, у межах яких виконується певна наукова робота. Розрізняють технічні, біологічні, історичні та інші напрями з можливою їх деталізацією.

Структурні одиниці наукового напрямку:

- наукові комплексні проблеми (сукупність проблем, які мають одну мету);
- наукові проблеми (сукупність складних теоретичних і практичних завдань, розв'язання яких назріло в певній галузі науки);
- наукові теми (складові частини проблеми або визначене коло наукових питань);
- наукові питання (складові частини теми або окремі завдання конкретної теми).

Кожна наукова робота належить до певного конкретного напрямку досліджень. Наукові роботи класифікують за такими ознаками.

За напрямом розвитку виробництва:

- створення нових технологічних процесів, машин, апаратів тощо;
- підвищення ефективності виробництва;
- поліпшення виробничих відносин та організації виробництва.

За ступенем важливості:

- найважливіші, що координуються на державному рівні;
- роботи, що виконуються Академією наук;
- роботи, що виконуються галузевими науковими установами.

За науковим рівнем:

- фундаментальні;
- прикладні;
- дослідно-конструкторські розробки.

За джерелом фінансування:

- держбюджетні;
- договірні.

1.2. Вибір напрямку та теми наукового дослідження

Напрямок наукового дослідження визначається галуззю науки, специфікою наукових інститутів. Конкретизація напрямку наукових досліджень проводиться на базі вивчення виробничих, суспільних потреб і стану досліджень. Під **науковим напрямом** розуміють сферу наукових досліджень наукового колективу, яка спрямована на вивчення певних фундаментальних, теоретичних і експериментальних завдань у відповідній галузі науки.

Науковий напрям – сфера дослідження наукового колективу, який упродовж відповідного часу розв’язує ту чи іншу проблему.

Розрізняють технічні, біологічні, соціальні, економічні напрями з подальшою деталізацією. Структурними одиницями наукового напрямку є комплексні проблеми, проблеми, теми і питання.

Дослідницька робота розпочинається з вибору проблеми або теми дослідження. **Проблема** – форма наукового пізнання, у якій констатується недостатність досягнутого до даного моменту рівня знання. Проблеми наукових досліджень вибирають, виходячи з фахової готовності та зацікавленості: планів науково-дослідних робіт установи (науково-дослідної тематики, що передбачається планами галузевих міністерств, відомств, академій наук, закладів освіти, тематичних завдань, замовлень на проведення досліджень); цільових комплексних, галузевих і регіональних науково-технічних програм.

Наукова проблема – питання, що потребує наукового вирішення; сукупність нових діалектично складних теоретичних або практичних питань, які суперечать існуючим знанням або прикладним методикам у конкретній науці та потребують вирішення за допомогою наукових досліджень.

На основі ретельного вивчення вітчизняних та зарубіжних публікацій у вибраному та суміжних наукових напрямках формулюють основну проблему і в загальних рисах визначають очікуваний результат. Важливим під час формулювання проблеми є вивчення **стану наукових розробок** у цьому напрямі, у процесі якого слід розділити:

- 1) знання, що набули загального визнання наукової спільноти та перевірені на практиці;
- 2) питання, які є недостатньо розробленими і вимагають наукового обґрунтування;
- 3) невирішені питання, сформульовані у процесі теоретичного осмислення, запропоновані практикою або ті, що виникли під час вибору теми.

Такий підхід надає змогу з’ясувати зміст проблеми. Розробка структури проблеми передбачає виділення тем, розділів, питань. У кожній темі виявляють орієнтовну сферу дослідження. Потім її конкретизують,

провівши внутрішній причинно-наслідковий аналіз і виявивши всі змістовні сторони. Тому виділяють похідні проблеми, кожна з яких має стати об'єктом деталізації доти, доки не будуть визначені конкретні завдання – зміст поставленої проблеми. Важливим моментом конкретизації проблеми є обмеження кола питань, які необхідно вивчити.

Необхідно вивчити історичні аспекти та сучасний стан проблеми, оскільки це є важливим елементом пошуку правильного рішення. Слід також виявити коло питань, які стануть відправною точкою при визначенні перспектив подальшого вивчення проблеми. Наукова проблема має бути актуальною, науково значимою та вирізнятись новизною.

Для обґрунтування актуальності проблеми необхідне висвітлення кількох позицій, зокрема посилення на документи, у яких визначаються соціальні замовлення у сфері освіти та її практичних потреб, що характеризуються недостатністю тих чи інших наукових знань, які потребують вирішення.

Важливою складовою, що забезпечує ефективність проведення будь-якого наукового-дослідження, є чітке формулювання його теми, яка повинна відбивати рух від досягнутого наукою, від звичного до нового, містити момент зіткнення старого з новим.

Тема дослідження – методологічна характеристика дослідження; відображає проблему в її характерних рисах, окреслює межі дослідження, конкретизуючи основний задум та створюючи передумови успіху роботи в цілому.

Тема – частина наукової проблеми, яка охоплює одне або кілька питань дослідження. Тема формується на основі загального ознайомлення з проблемою, в межах якої буде проводитись дослідження.

Процес формування теми дослідження включає такі етапи



Тему дослідження обирають з урахуванням умов, наведених нижче.

Актуальність. Дослідницька робота повинна бути актуальною, тобто скерованою на розв'язання конкретних і корисних завдань, які є важливими у даному напрямі науки. Визначення актуальності теми базується на вивченні

спеціальної періодичної літератури та виробництва, участі у виставках, конференціях тощо.

Рівень інтересу до проблеми. Одним із критеріїв перспективності обраного напряму дослідження є застосування найпростіших наукометричних досліджень. Термін «наукометрія» означає науку, яка займається кількісним описом власне науки. Оскільки наука – це, перш за все, одержання нової інформації, наукометричні дослідження присвячені вивченню проблем накопичення і передачі інформації. Дослідження можуть виконуватись на основі аналізу науково-технічної літератури, яка стосується певної проблеми.

Попередній теоретичний та інженерний розрахунки. Перед початком досліджень необхідно вивчити теоретичні засади певної проблеми і провести попередні теоретичні розрахунки (якщо це можливо). Це дозволяє виявити ті елементи проблеми, які ще недостатньо розроблені, й намітити план подальших досліджень.

Матеріальна база. Після того, як тема початково сформульована, уточнюється матеріальна база, необхідна для виконання роботи. Для проведення багатьох робіт потрібний спеціальний інструментарій, сучасні електронні прилади та обладнання, на придбання яких потрібні великі кошти. У той же час виконання досліджень на застарілому обладнанні недоцільне, оскільки це знижує достовірність результатів. Але завжди доводиться шукати варіанти технічного забезпечення досліджень, що вирішуються за допомогою простої доступної техніки.

Точність вимірювань. Необхідно, хоча б приблизно, оцінити межі використання результатів, і це дасть відповідь на вимоги щодо точності вимірювань.

Терміни виконання. Повинні бути встановлені реальні терміни виконання роботи. Затягування дослідження інколи призводить до того, що результати отримують швидше інші дослідники або ж вони стають неактуальними.

Зацікавлені особи. Необхідно визначити коло організацій і осіб, які зацікавлені в результатах роботи і можуть допомогти у її виконанні. Може бути корисним обговорення змісту майбутнього дослідження із зацікавленими особами. Це дає змогу конкретизувати завдання або додати ще інші, запобігти дублюванню робіт, а також домовитись про проведення спільних досліджень.

Тема повинна відповідати профілю наукового колективу, членом якого є дослідник. Кожен науковий колектив (ВНЗ, НДІ, відділ, кафедра) має свій профіль, кваліфікацію, компетентність.

Отже, на стадії обґрунтування теми дослідження вивчають усі критерії її вибору, після чого приймають рішення про доцільність її розробки.

1.3. Визначення предмета та об'єкта дослідження. Мета і завдання дослідження

Об'єкт дослідження – це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію і обирається для вивчення.

Предмет дослідження – явище або процес, що знаходиться в межах об'єкта та розглядається як елемент, частина об'єкта дослідження.

Об'єкт і предмет дослідження, як категорії наукового процесу співвідносяться між собою, як загальне і часткове. В об'єкті виділяється його частина, яка є предметом дослідження. Саме на нього спрямована основна увага науковця, оскільки предмет дослідження визначає тему наукового дослідження.

Одним із важливих творчих етапів вирішення проблеми є визначення мети та завдань наукового дослідження.

Метою наукового дослідження є всебічне, достовірне вивчення об'єкта, явища або процесу, їх структури, зв'язків на основі розроблених у науці принципів і методів пізнання; здобуття і впровадження у практику корисних і необхідних для суспільства результатів.

Мета дослідження – це кінцевий результат, на досягнення якого воно спрямоване. Вона має адекватно відобразитись у темі роботи, містити в узагальненому вигляді очікувані результати та наукові завдання.

Чітке формулювання конкретної мети – одна з найважливіших методологічних вимог до програми наукового дослідження. Мета дослідження полягає у вирішенні наукової проблеми шляхом удосконалення вибраної сфери діяльності конкретного об'єкта [53].

Мета конкретизується та розвивається у завданнях дослідження. **Завдання** повинні розглядатись як основні етапи наукового дослідження. Завдання підпорядковуються основній меті і спрямовані на послідовне її досягнення. Вони не можуть сформулюватись як «вивчення», «ознайомлення», «дослідження» тощо, оскільки таким чином вказують не на результат наукової розробки, а на окремі технологічні процеси. Завдання дослідження визначають для того, щоб більш конкретно реалізувати його мету.

Завдання наукового дослідження, як правило, полягають у:

- вирішенні теоретичних питань, які пов'язані з проблемою дослідження (введення до наукового обігу нових понять, розкриття їх сутності і змісту; розроблення нових критеріїв і показників; розроблення принципів, умов і факторів застосування окремих методик і методів);
- виявленні, уточненні, поглибленні, методологічному обґрунтуванні суттєвості, природи, структури об'єкта, що вивчається; виявленні тенденцій і закономірностей процесів; аналізі реального стану

- предмета дослідження, динаміки, внутрішніх протиріч розвитку;
- виявленні шляхів та засобів удосконалення явища, процесу, що досліджується (практичні аспекти роботи); обґрунтуванні системи заходів, необхідних для вирішення прикладних завдань;
- експериментальній перевірці розроблених пропозицій щодо розв'язання проблеми, підготовці методичних рекомендацій для їх використання на практиці.

Отже, визначення мети і завдань дослідження – важливий етап розв'язання наукової проблеми.

Фундаментальні дослідження – спрямовані на розв'язання фізичних задач, які дозволяють відкрити нові явища і закономірності під час проведення досліджуваних процесів.

Пошукові дослідження – пошук шляхів створення нової технології й техніки та нових способів, запропонованих на основі фундаментальних досліджень.

Прикладні дослідження – розв'язують завдання ідентифікації та оптимізації й спрямовані на досягнення конкретної, раніше визначеної, практичної мети.

Промислові дослідження – виконуються безпосередньо на виробництві. Коли з числа наведених вище завдань визначено тип завдання науково-дослідної роботи, тоді можна ґрунтовно розробляти план послідовного виконання досліджень.

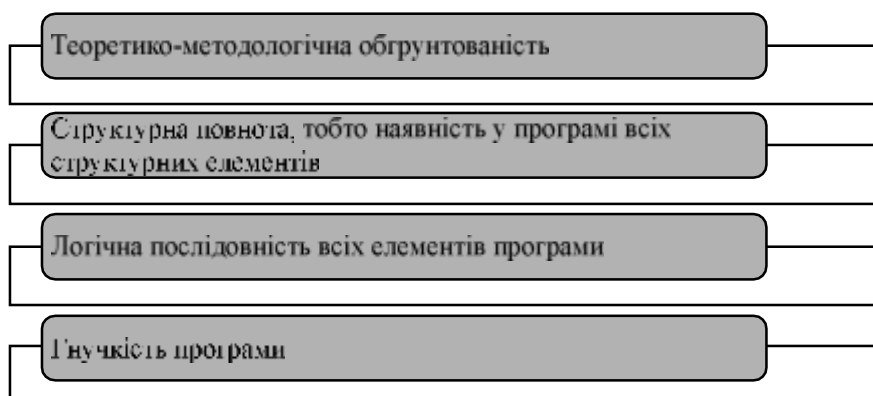
1.4. Порядок здійснення наукового дослідження. Поняття, функції та структура програми дослідження

Проведення дослідження започатковується розробкою програми.

Програма дослідження – це документ, який регламентує всі етапи, стадії підготовки, організації та проведення конкретного дослідження. Програма дослідження містить теоретичні обґрунтування методологічних підходів і методичних прийомів вивчення певного явища або процесу.

Програма визначає проблему, мету, завдання дослідження, методи їх вирішення, а також основні шляхи і форми впровадження в практику очікуваних результатів. Вона виконує роль стрижневого кореня дослідження, зумовлюючи його змістовно-сміслову цінність, якість та надійність отриманої інформації.

Серед основних **вимог до формування програми** визначають такі:



Програма дослідження виконує три **основні функції**:

- **методологічну** – дає змогу визначити проблему, задля якої здійснюється дослідження; сформулювати його мету і завдання; зафіксувати вихідні положення про досліджуваний об'єкт; зіставити дане дослідження з тими, що проводилися раніше;
- **методичну** – дає можливість розробити загальний логічний план дослідження; визначити методи збору і аналізу інформації; розробити процедуру дослідження; провести порівняльний аналіз отриманих результатів;
- **організаційну** – забезпечує розробку чіткої системи розподілу праці між членами дослідницької групи; налагодження контролю за ходом і процесом дослідження, публікацію результатів тощо.

Створення програми розпочинається з розробки концепції дослідження, яка визначає його основну ідею. Концептуальні положення дослідження фіксують у методологічному розділі програми.

Методологічний розділ включає:

- проблемну ситуацію, яка зумовлює необхідність проведення дослідження (чому проводиться);
- вибір теми дослідження;
- визначення об'єкта і предмета дослідження;
- структурний (логічний) аналіз об'єкта;
- визначення мети і основних завдань дослідження;
- обґрунтування робочих гіпотез (гіпотези не є обов'язковим елементом програми);

Методико-процедурний розділ містить:

- Методику дослідження (методи збирання, обробки та аналізу даних);
- Формування вибіркової сукупності (тип вибірки, структура вибіркової сукупності, обсяг вибірки);
- Інструментарій для збору інформації.

Рівень достовірності основних результатів наукового дослідження значно підвищується, якщо вони базуються на експериментальних даних. Тому програма повинна включати **розділ експериментальних досліджень**.

Завершується експеримент переходом від емпіричного вивчення до обробки отриманих даних, логічних узагальнень, аналізу і теоретичної інтерпретації отриманого фактичного матеріалу.

Результати наукового дослідження подаються у вигляді **підсумкового документа**: інформації, інформаційної записки, аналітичної записки чи звіту про науково-дослідну роботу.

Для оптимізації роботи, щоб при найменших затратах отримати

найкращі результати, необхідне планування наукового дослідження.

Робочий план становить основу, визначає загальну спрямованість дослідження та послідовність його проведення. Структура плану визначається обсягом і складністю дослідження. План може складатись із остаточно сформульованих пунктів, які повністю відображають їх змістовне наповнення, або тез, що в основних рисах характеризують положення дослідження.

На більш пізніх стадіях виконання дослідження можна підготувати **план-проспект** – реферативне викладення отриманих результатів у послідовності їх розміщення у рукописі.

План доцільно будувати за такою схемою: вступ, розділи, параграфи, висновки, список використаної літератури, додатки.

1.5. Послідовність та етапи виконання наукових досліджень

Початком наукового дослідження є докладний аналіз сучасного стану проблеми, яка розглядається. Він здійснюється на основі інформаційного пошуку з широким використанням ЕОМ. При цьому використовуються різні джерела інформації, які знаходяться в Україні, а також всесвітня комп'ютерна мережа Internet.

На основі аналізу проблеми складаються огляди, реферати й експрес-інформації, дається класифікація основних напрямів і визначаються конкретні завдання дослідження. Далі здійснюється вибір методу дослідження з використанням критеріїв його оцінки, складається план- графік виконання робіт та розраховується очікуваний економічний ефект.

Власне виконання наукових досліджень полягає в розв'язанні поставлених на початку завдань. Найчастіше у фундаментальних і прикладних дослідженнях використовується математичне або фізичне моделювання, а також поєднання цих методів. *Математичне* моделювання включає в себе декілька послідовних кроків. Це складання математичної моделі досліджуваного процесу на основі зібраних даних або використання готової моделі досліджуваного процесу на основі зібраних даних, або використання готової моделі з корегуванням основних і допоміжних факторів, що в багатьох випадках дозволяє спростити та пришвидшити дослідження. Для зручності розв'язання поставленого завдання математичний опис явища виконується у безрозмірних одиницях на основі теорії подібності. Далі здійснюється вибір способу розв'язання завдання (аналітичний або наближений) з урахуванням декількох умов, а саме: необхідної точності; тривалості виконання; оптимальних матеріальних витрат. Оброблення результатів експерименту виконується за допомогою ЕОМ. На основі широкого застосування математичної теорії планування експерименту отримують результати у вигляді математичних рівнянь, будують графіки і номограми, які характеризують закономірності процесу, що досліджується.

Фізичне моделювання може здійснюватися на модельній (лабораторній) або натурній установці. Для цього розробляються креслення установки, визначається діапазон основних параметрів, добирається вимірювальна апаратура, а також складається програма проведення досліджень.

Експерименти можуть здійснюватися за класичною схемою (коли послідовно перебираються вибрані фактори) або з використанням математичної теорії планування експерименту. Після виконання програми досліджень проводиться перевірка правильності одержаних результатів, оброблення одержаних даних і отримання відповідних рівнянь та оцінюється помилка розрахунку за ними. Під час фізичного моделювання широко використовується ЕОМ – для керування експериментом і обробки його результатів.

Завершенням наукової розробки є аналіз отриманих результатів та їх оформлення. Виконується зіставлення результатів теорії та експерименту, дається аналіз їх можливих відмінностей. Складається звіт про проведені наукові дослідження, який оформляється за державним стандартом.

2. ДОСЛІДНИЦЬКІ ПРИНЦИПИ НАУКИ. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

2.1. Принципи та методи наукового пізнання

Методи наукового пізнання

Метод – це спосіб досягнення поставленої мети. Метод об'єднує суб'єктивні та об'єктивні аспекти пізнання. Метод є об'єктивним, оскільки дозволяє відображати дійсність та її взаємозв'язки. Отже, метод є програмою побудови і практичного застосування теорії. Одночасно з цим метод суб'єктивний, оскільки є знаряддям думки дослідника та включає в себе його суб'єктивні особливості.

Методи досліджень бувають: загальні, що діють у всіх галузях науки і на всіх етапах дослідження; загальнонаукові, тобто придатні для всіх наук; часткові – для певних наук; спеціальні – для однієї специфічної науки. Такий поділ методів завжди умовний, оскільки в міру розвитку пізнання науковий метод може переходити з однієї категорії в іншу.

Загальнонаукові методи – це система принципів, прийомів, що мають загальний, універсальний характер, є абстрактними, суворо не регламентовані, не піддаються формалізації та математизації; використовуються в усіх чи майже в усіх науках з урахуванням особливостей конкретних об'єктів дослідження.

Загальнонаукові методи поділяються на:

- методи емпіричного дослідження (спостереження, порівняння,

вимірювання, експеримент);

- методи, що використовуються як на емпіричному, так і на теоретичному рівні дослідження (абстрагування, аналіз і синтез, індукція та дедукція, моделювання та ін.);
- методи теоретичного дослідження (сходження від абстрактного до конкретного, ідеалізація, формалізація, аксіоматичний метод).

На **емпіричному рівні** переважає живе споглядання (чуттєве пізнання), раціональний момент тут наявний, але має підпорядковане значення. Тому досліджуваний об'єкт відображається переважно з боку зовнішніх зв'язків та проявів, що доступні живому спогляданню. Збирання фактів, їх первинний опис, узагальнення, систематизація – характерні ознаки емпіричного пізнання.

Теоретичний рівень дослідження пов'язаний з більш глибоким аналізом фактів, з проникненням у сутність досліджуваних явищ, з пізнанням та формулюванням законів, тобто з поясненням реальної дійсності.

Кожен науковий метод має відповідати таким критеріям:

- **ясність** – загальнозрозумілість методу;
- **детермінованість** – суворая послідовність використання методу;
- **націленість** – підпорядкованість методу досягненню певної мети, розв'язанню певних конкретних завдань;
- **результативність** – здатність методу забезпечувати досягнення певної мети;
- **надійність** – здатність методу з великою ймовірністю забезпечувати отримання бажаного результату;
- **економічність** – здатність методу добиватися певних результатів із найменшими витратами засобів і часу.

До основних загальнонаукових методів пізнання відносять:

- **спостереження** – це спосіб безпосереднього вивчення предметів і явищ за допомогою органів чуття без втручання в процес з боку дослідника;
- **порівняння** – це виявлення відмінностей між об'єктами матеріального світу або знаходження в них спільного за допомогою органів чуття чи спеціальних пристроїв;
- **підрахунок** – це знаходження числа, що визначає кількісне співвідношення однотипних об'єктів або їх параметрів, котрі характеризують ті чи інші властивості;
- **вимірювання** – це фізичний процес визначення числового значення певної величини шляхом порівняння її з еталоном;
- **експеримент** – це одна із сфер людської практики, в результаті якої перевіряється істинність гіпотез або виявляються закономірності об'єктивного світу. Під час експерименту дослідник втручається в процес, який він вивчає, з метою пізнання. При цьому одні умови досліду ізолюються, інші виключаються, а деякі підсилюються або

послаблюються;

- **узагальнення** – визначення загального поняття, в якому відображається головне або основне, що характеризує об'єкти певного класу. Це засіб для утворення нових наукових понять, формулювання законів і теорій;
- **абстрагування** – це відвертання уваги в думках від несуттєвих властивостей, зв'язків, відношень предметів і виділення декількох сторін, що цікавлять дослідника. Абстрагування, як правило, здійснюється у два етапи. На першому етапі визначаються несуттєві властивості, зв'язки тощо, на другому – досліджуваний об'єкт замінюють іншим, більш простим, тобто спрощеною моделлю, яка зберігає головне в складному. Розрізняють такі види абстрагування: ототожнювання (утворення понять шляхом об'єднання предметів, виділених за своїми властивостями, в особливий клас); ізолювання (відокремлення властивостей, невід'ємно пов'язаних з предметами); конструктивізація (не береться до уваги невизначеність між реальними об'єктами); припущення можливого здійснення;
- **формалізацію** – відображення об'єкта або явища в знаковій формі певної спеціальної мови (математики, фізики, хімії тощо) і забезпечення можливості дослідження реальних об'єктів та їх властивостей через формальне дослідження відповідних знаків;
- **аксіоматичний метод** – спосіб побудови наукової теорії, при якому деякі твердження (аксіоми) приймаються без доведень і тоді використовуються для отримання решти знань (за певними логічними правилами);
- **аналіз** – метод пізнання, при якому предмет дослідження (об'єкт, властивості тощо) розкладається на окремі складові частини. У зв'язку з цим аналіз лежить в основі аналітичного методу досліджень;
- **синтез** – це поєднання окремих сторін предмета дослідження в єдине ціле. Аналіз і синтез взаємозв'язані та уособлюють єдність протилежностей. Розрізняють такі види аналізу і синтезу: прямий, або емпіричний, метод (використовують для виділення окремих частин об'єкта); елементно-теоретичний метод (базується на уявленнях про причинно-наслідкові зв'язки різних явищ); структурно-генетичний метод (вилучення із складного явища таких елементів, які створюють вирішальний вплив на решту сторін об'єкта);
- **гіпотетичний метод** пізнання передбачає розробку наукової гіпотези на основі вивчення фізичної, хімічної чи будь-якої іншої суті досліджуваного явища за допомогою описаних вище способів пізнання. Потім формулюються гіпотези, складається розрахункова схема алгоритму (моделі), здійснюється її вивчення, аналіз і розробка теоретичних положень.

Важливими поняттями в теорії пізнання є *індукція* – умовивід від фактів до деякої гіпотези, та *дедукція* – умовивід, в якому висновок про деякий елемент множини робиться на основі знань загальних властивостей всієї множини. Найважливіше правило дедукції формулюється так: «Якщо із висловлювання *A* слідує висловлювання *B*, а висловлювання *A* є істинним, то *B* також є істинним».

Одним із методів наукового пізнання є *аналогія*, за допомогою якої одержують знання про предмети і явища на основі їх подібності з іншими.

Як у соціально-економічних, так і в технічних дослідженнях часто використовують *історичний метод* пізнання. Цей метод передбачає дослідження виникнення, формування і розвитку об'єктів у хронологічній послідовності, в результаті чого дослідник одержує додаткове знання про процес, який вивчає.

При гіпотетичному методі пізнання дослідник часто звертається до ідеалізації – створення в думках об'єктів, які практично нездійсненні (наприклад, ідеальний газ, абсолютне тверде тіло). У результаті ідеалізації реальні об'єкти позбавляються деяких властивостей і наділяються гіпотетичними властивостями.

Під час дослідження окремих систем з різного виду зв'язками, що характеризуються як безперервність та детермінованість, так і дискретність та випадковість, використовуються *системні методи* (дослідження операцій, теорія масового обслуговування, теорія керування, теорія множин тощо).

2.2. Рівні методів наукових досліджень

Залежно від мети, завдання досліджень і необхідних результатів, методи наукового пізнання умовно поділяють на декілька рівнів: емпіричний, експериментально-теоретичний, теоретичний і метатеоретичний.

Методи емпіричного рівня: спостереження, порівняння, рахунок, вимірювання, тести, метод проб і помилок та ін. Методи цієї групи конкретно пов'язані з явищами, що вивчаються, і використовуються на етапі формування наукової гіпотези.

Методи експериментально-теоретичного рівня: експеримент, аналіз і синтез, індукція і дедукція, моделювання, гіпотетичний, історичний та логічний методи. Вони допомагають досліднику виявити ті чи інші достовірні факти та об'єктивні прояви під час дослідження процесів. За допомогою цих методів здійснюється накопичення фактів та їх перехресна перевірка. Варто зазначити, що факти мають науково-пізнавальну цінність тільки в тих випадках, коли вони систематизовані, між ними розкриті невідповідності та визначені причини наслідків. Таким чином, завдання виявлення істини потребує не тільки збору фактів, а й правильного їх теоретичного оброблення. Початкова систематизація фактів та їх аналіз виконуються вже в процесі спостережень,

міркувань, експериментів, бо ці методи включають у себе не тільки чуттєве сприйняття предметів і явищ, але й їх відбір, класифікацію, обдумування сприйнятого матеріалу, його фіксування.

Методи теоретичного рівня: абстрагування, ідеалізація, формалізація, аналіз і синтез, індукція і дедукція, аксіоматика, узагальнення та ін. На теоретичному рівні проводяться логічні дослідження зібраних фактів, розробка понять, суджень та виконання умовиводів. У процесі цієї роботи співвідносяться попередні наукові уявлення з новими, що виникають. На теоретичному рівні наукове мислення звільняється від емпіричного опису, створюється теоретичне узагальнення. Таким чином, новий теоретичний зміст знань надбудовується над емпіричними знаннями. На теоретичному рівні пізнання науковці використовують логічні методи подібності або відмінності, розробляють нові системи знань або вирішують завдання подальшого узгодження теоретично розроблених систем з накопиченими новими експериментальними результатами.

До методів метатеоретичного рівня відносять тільки діалектичний метод і метод системного аналізу. З допомогою цих методів досліджуються власне теорії й розробляються шляхи їх побудови, вивчається система положень і понять певної теорії, з'ясовуються межі її застосування, способи запровадження нових понять, обґрунтовуються шляхи синтезу декількох теорій. Центральним завданням цього рівня досліджень є пізнання умов формалізації наукових теорій і вироблення формалізованих мов, так званих метамов.

У процесі розвитку технічних наук наукові дослідження виконуються на двох рівнях: **емпіричному** та **теоретичному**. Рівні відрізняються глибиною, повнотою і всебічністю дослідження об'єкта; цілями, методами досягнення та способами вираження знань; ступенем значимості в них чуттєвого та раціонального пізнання. На емпіричному рівні здійснюються спостереження за об'єктами, фіксуються факти, проводяться експерименти, виявляються емпіричні співвідношення та закономірні зв'язки між окремими явищами. На теоретичному рівні створюються системи знань, теорії, в яких розкриваються загальні та необхідні зв'язки, формулюються закони в їх системній єдності та цілісності.

На емпіричному рівні пізнавальною функцією є описова характеристика явищ, а результатом – наукові факти, певна сумативність знань, сукупність емпіричних узагальнень, встановлення закономірних зв'язків між окремими явищами, тобто домінує чуттєво-сенситивний компонент у пізнанні.

На теоретичному рівні досліджень головним завданням є розкриття суттєвих причин та зв'язків між явищами, а пізнавальною функцією – пояснення явищ у формі законів, теорій, теоретичних систем та системних законів. На цьому рівні домінує раціональне пізнання.

Методи обох рівнів органічно взаємопов'язані й взаємно зумовлюють один одного у цілісній структурі наукового пізнання. Емпіричне переходить у теоретичне, а те, що спочатку було теоретичним, на більш високому етапі розвитку, стає емпірично доступним.

3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Завдання і структура теоретичних досліджень

Метою теоретичних досліджень є з'ясування в процесі синтезу знань суттєвих зв'язків між досліджуваним об'єктом і зовнішнім середовищем, *пояснення й узагальнення* результатів експериментальних досліджень та *виявлення* загальних закономірностей з їх наступною формалізацією [23].

Теоретичне дослідження завершується *розробленням теорії*, що не обов'язково пов'язана із побудовою її математичного апарату. Теорія проходить у своєму розвитку різні стадії – від якісного пояснення і кількісного вимірювання процесів до їх формалізації – і може бути представлена як у вигляді правил, так і у вигляді математичних рівнянь.

Основні завдання теоретичних досліджень:

- узагальнення результатів дослідження, виявлення загальних закономірностей шляхом оброблення та інтерпретації дослідних даних;
- поширення результатів дослідження на низку подібних об'єктів без повторення всього обсягу досліджень;
- підвищення надійності експериментального дослідження об'єкта (пояснення параметрів і умов спостереження, точності вимірювань).

Теоретичні дослідження передбачають такі етапи виконання:

- аналіз фізичної суті процесів, явищ;
- формулювання гіпотези дослідження;
- побудова (розробка) фізичної моделі;
- проведення математичного дослідження;
- аналіз теоретичних рішень;
- формулювання висновків.

Якщо не вдається виконати математичне дослідження, то формулюється математичне дослідження в словесній формі з використанням графіків, таблиць та ін. У технічних науках необхідно прагнути до застосування математичної формалізації висунутих гіпотез і висновків.

Процес виконання теоретичних досліджень складається із декількох стадій. Перша стадія – *оперативна*, яка включає перевірку можливостей

усунення технічних суперечностей, оцінку вірогідних змін у середовищі, що оточує об'єкт, аналіз можливості переносу вирішення завдання з інших галузей знань, застосування «зворотного» рішення. Друга стадія – **синтезна**, в процесі якої визначається вплив зміни однієї частини об'єкта на побудову інших його частин, а також необхідні зміни тих об'єктів, що працюють разом із цим об'єктом. Оцінюються можливості застосування зміненого об'єкта в нових умовах та знайденої технічної ідеї для розв'язання інших задач.

Виконання перших двох стадій дає можливість приступити до стадії **постановки завдання**, в процесі якого визначається кінцева мета розв'язання завдання, перевіряється можливість досягнення тієї ж мети іншими (можливо, більш простими) шляхами, обирається найефективніший спосіб розв'язання завдання та визначаються потрібні кількісні показники. Після цього, за необхідності, уточнюються вимоги до конкретних умов практичної реалізації одержаного розв'язку завдання.

Аналітична стадія включає визначення ідеального кінцевого результату; виявляються перешкоди, які заважають отримати ідеальний результат, та їх причини; визначаються умови, які забезпечують отримання ідеального результату з метою виявлення, за яких умов зникне «перешкода».

Постановка завдання є найважливішою частиною теоретичних досліджень. Розв'язання теоретичних завдань повинно носити **творчий характер**. Творчі рішення – це, по суті, розрив звичних уявлень і погляд на явище з іншої точки зору. Необхідно підкреслити, що власні творчі думки (оригінальні рішення) виникають частіше тоді, коли більше сил, праці, часу витрачається на постійне обдумування шляхів розв'язання теоретичного завдання, чим глибше науковець займається дослідницькою роботою. Окрім наведених вище методів, часто використовують й інші, **логічні методи і правила**, які мають нормативний характер. До них належать правила висновку, утворення складних понять із простих та ін. Спеціальними принципами побудови теорій служать також принципи формування аксіоматичних теорій, критерії несуперечності, повноти і незалежності систем, аксіом та гіпотез тощо.

3.2. Сучасні методи теоретичних досліджень

До основних загальнонаукових методів, які використовуються на теоретичному рівні дослідження, можуть бути віднесені методи: **аналізу та синтезу, індукції і дедуції, сходження від абстрактного до конкретного, ідеалізації та формалізації, аксіоматичний метод, системний підхід**.

Аналіз – метод наукового дослідження шляхом розкладання предмета на складові, тоді як **синтез** – це поєднання отриманих під час аналізу частин у ціле. Методи аналізу та синтезу в науковій творчості органічно

пов'язані між собою і можуть набувати різних форм залежно від властивостей досліджуваного об'єкта, мети дослідження, ступеня пізнання об'єкта, глибини проникнення в його сутність.

Метод сходження від абстрактного до конкретного є загальною формою руху наукового пізнання – це відображення дійсності в мислені. Згідно з цим методом процес пізнання ніби розпадається на два відносно самостійні етапи: *перший етап* – від чуттєво-конкретного до його абстрактних визначень; *другий етап* – сходження від абстрактних визначень об'єкта до конкретного у пізнанні.

Дедуктивною називають таку розумову конструкцію, в якій висновок щодо якогось елементу множини робиться на підставі знання загальних властивостей всієї множини. Змістом дедукції як методу пізнання є використання загальних наукових положень при дослідженні конкретних явищ.

Під **індукцією** розуміють перехід від часткового до загального, коли на підставі знання про частину предметів класу робиться висновок стосовно класу в цілому. Дедукція та індукція – взаємно протилежні методи пізнання.

Метод ідеалізації – конструювання подумки об'єктів, яких немає в дійсності або які практично нездійсненні. Мета ідеалізації: позбавити реальні об'єкти деяких притаманних їм властивостей і наділити (подумки) ці об'єкти певними нереальними і гіпотетичними властивостями.

Формалізація – метод вивчення різноманітних об'єктів шляхом відображення їхньої структури в знаковій формі. Вона забезпечує узагальненість підходу до вирішення проблем; символіка надає стислості та

чіткості фіксації значень; однозначність символіки; діє змогу формувати знакові моделі об'єктів і замінювати вивчення реальних речей і процесів вивчення цих моделей.

Аксиоматичний метод – метод побудови наукової теорії, за якою деякі твердження приймаються без доведень, а всі інші знання виводяться з них відповідно до певних логічних правил.

Системний аналіз – вивчення об'єкта дослідження як сукупності елементів, що утворюють систему. У наукових дослідженнях він передбачає оцінку поведінки об'єкта як системи з усіма факторами, які впливають на його функціонування.

Виконати теоретичні дослідження означає спробувати розв'язати поставлене завдання теоретичним шляхом. Тому в багатьох випадках виконання теоретичних досліджень зводиться до складання і розв'язання математичної задачі, яка базується на конкретних фізичних законах зміни процесів і явищ. Із цієї точки зору фізичні закони можна розділити на дві групи:

- закони збереження (енергії, заряду, імпульсу та ін.);
- закони руху (механічного, електричного, теплового та ін.).

На основі законів статистики (першої групи) складаються рівняння балансу, а на основі законів другої групи – рівняння руху, тобто динаміки, які описуються диференціальними рівняннями.

Математична підготовка спеціаліста, який хоче самостійно виконувати теоретичні дослідження технічних процесів, повинна бути досить високою. Поряд з класичними розділами математичного аналізу для дослідження процесів часто застосовують сучасні розділи математики: лінійне, нелінійне, динамічне програмування, теорію гри і статистичних розв'язків, теорію масового обслуговування, метод кінцевих елементів, теорію катастроф та ін.

У найскладніших випадках, коли процеси дослідження та їх результати залежать від великого числа факторів, які складно взаємодіють між собою, аналітичні методи взагалі неприйнятні. Тоді застосовують метод *статистичного моделювання (Монте-Карло)*. Ідея цього методу полягає у тому, що процес дослідження відтворюється на ЕОМ з усіма випадковостями, що його супроводжують.

Метод статистичного моделювання, відомий під назвою *«метод Монте-Карло»*, – це числовий метод розв'язування математичних задач за

допомогою моделювання випадкових величин. Датою народження методу Монте-Карло вважають 1949 р., коли з'явилася стаття під назвою «The Monte Carlo method». Автори цього методу – американські математики Дж. Нейман і С. Улам, хоча теоретична основа цього методу була відома давно. Навіть деякі задачі статистики іноді розраховували за допомогою випадкових вибірок, тобто фактично «методом Монте-Карло». Для кращого розуміння методу розглянемо такий приклад. Нехай нам треба визначити площу плоскої фігури S . Це може бути будь-яка фігура, обмежена криволінійними або прямолінійними контурами (рис. 3.1). Розташуємо цю фігуру в квадрат зі сторонами 1×1 у системі координат. Оберемо у середині квадрату N випадкових точок.

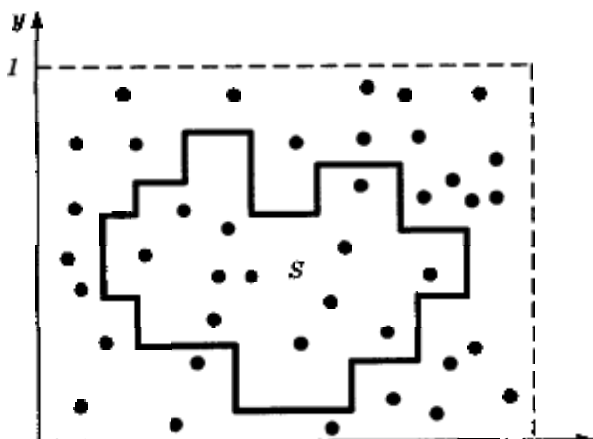


Рис. 3.1. Визначення площі фігури за методом Монте-Карло

Позначимо через N число точок, що потрапили в середину фігури S . Геометрично очевидно, що площа S наближено дорівнює відношенню N/N . Чим більше N , тим більша точність цієї оцінки. У прикладі, що зображений на рис. 3.1, обрали 40 випадкових точок. З них 12 точок виявилися в середині фігури S . Отже, відношення

N/N буде $12/40=0,3$, а фактична площа фігури $S = 0,35$.

Перша особливість цього методу – простота алгоритму. Як правило, складають програму для одного випробування (у нашому прикладі треба обрати випадкову точку в квадраті й перевірити чи належить вона фігурі S). Потім цей дослід повторюють N разів, при цьому кожен дослід не залежить від інших. За результатами дослідів визначають середні величини, тому цей метод одержав іншу назву – «метод статистичних випробувань».

Друга особливість цього методу – похибка обчислень, як правило,

пропорційна $\sqrt{D/N}$, де D – деяка стала, N – число випробувань. Звідси видно, що для того, щоб зменшити похибку у 10 разів (інакше кажучи, щоб отримати у відповіді ще один вірний десятковий знак),

треба збільшити N у 100 разів. Звичайно, домогтися високої точності таким шляхом неможливо. Тому вважають, що метод Монте-Карло особливо ефективний для задач, де результат може бути невисокої точності (5...10%).

Дискретні та безперервні випадкові величини.

Випадковою подією називають таку подію, котра за здійснення деяких умов може відбутися або не відбудеться. Відносною частотою P^ випадкової події A називають відношення:*

$$P^*(A) = p^* = \frac{m^*}{n^*}, \quad (3.1)$$

де m^* – число появи події A ; n^* – загальне число проведених випробувань.

Досвід показує, що коли число випробувань у кожній серії невелике, то відносні частоти появи події A у кожній серії можуть істотно відрізнятися. Але коли число випробувань у серіях велике, то відносні частоти перестають носити випадковий характер і наближаються до одного сталого числа, котре називають імовірністю появи випадкової події A . Це записують так:

$$P^{\text{і}}(A) = p^* \quad (3.2)$$

Отже, за необмеженого збільшення числа випробувань відносна частота події A зводиться до імовірності p появи цієї події: Якщо випадкова подія A є цифровою величиною, то її називають випадковою величиною, і вона також характеризується імовірністю. Випадкова величина ξ називається дискретною, якщо вона може набувати дискретної множини значень (x_1, x_2, \dots, x_n) .

Дискретна випадкова величина ξ визначається таблицею T :

$$\xi \approx \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ p_1 & p_2 & \dots & p_n \end{pmatrix}. (T) \quad (3.3)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – можливі фіксовані значення величини ξ ;
 p_1, p_2, \dots, p_n – відповідні їм імовірності.

Таблиця (T) називається *розподілом випадкової величини*. Числа x_1, x_2, \dots, x_n можуть набувати будь-яких значень, але імовірності p_1, p_2, \dots, p_n повинні задовольняти дві умови:

- усі p_i додатні $p_i > 0$;
- сума всіх p_i дорівнює 1: $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$.

Крім *дискретних* (фіксованих, роздільних) *випадкових величин*, розрізняють *неперервні випадкові величини*. Будемо називати випадкову величину ξ *неперервною*, якщо вона може набувати будь-якого значення на певному інтервалі (a, b) . Прикладом неперервних величин будуть розміри партії деталей, виготовлених у межах допуску; час напрацювань на відмову вузлів, деталей; час відновлення машин та ін. [46].

Неперервна випадкова величина ξ визначається заданням інтервалу (a, b) , що містить можливі значення цієї величини, і функцією $p(x)$, яка називається *густиною ймовірностей випадкової величини ξ* (або *густиною розподілу ξ*). Множиною значень ξ може бути будь-який інтервал, але густина $p(x)$ має задовольняти дві умови:

- 1) густина $p(x)$ завжди додатна: $p(x) > 0$;
- 2) інтеграл від густини $p(x)$ по всьому інтервалу (a, b) дорівнює 1.

$$\int p(x) dx = 1 \quad (3.4)$$

Випадкова величина y , що знаходиться в інтервалі $(0, 1)$ і має густину $p(x) = 1$, називається *рівномірно розподіленою в інтервалі $(0, 1)$* (рис. 3.2).

Математичне сподівання для рівномірно розподіленої величини y визначається за формулою:

$$M_y = \int_0^1 x p(x) dx = \int_0^1 x dx = \frac{1}{2} \quad (3.5)$$

Дисперсія:

$$D = \int_0^1 x^2 p(x) dx - M_y^2 = \frac{1}{3} - \frac{1}{4} = \frac{1}{12} \quad (3.6)$$

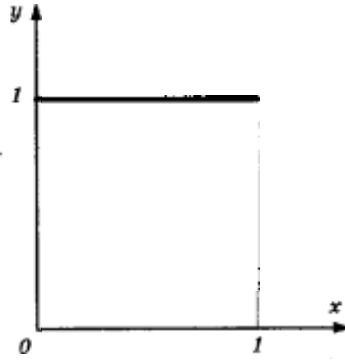


Рис. 3.2. Рівномірно розподілена випадкова величина y

Рівномірно розподілена на інтервалі $(0, 1)$ величина y використовується для розігрування випадкових величин за методом Монте-Карло.

Загальна схема методу Монте-Карло. Нехай необхідно підрахувати якусь невідому величину m . Спробуємо придумати таку випадкову величину ξ , щоб математичне сподівання цієї величини $M \xi = m$. Дисперсія при цьому $D \xi = b^2$.

Розглянемо N незалежних випадкових величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$, розподіл яких збігається з розподілом ξ . Якщо N велике, то за центральною граничною теоремою теорії ймовірностей розподіл суми цих випадкових величин $p_N = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_N$ буде приблизно нормальним з параметрами $a = N \cdot m$; $\sigma = b\sqrt{N}$.

Користуючись правилом «трьох сигм», за яким доведено, що на інтервалі $\pm 3\sigma$ лежить 99,7% усіх значень випадкової величини, запишемо:

$$P\{N \cdot m - 3b\sqrt{N} < p_N < N \cdot m + 3b\sqrt{N}\} \approx 0.997 \quad (3.7)$$

Якщо розділити вираз у фігурних дужках на N , то одержимо еквівалентну нерівність, а ймовірність її залишиться такою ж:

$$P\left\{m - 3b\sqrt{N} < \frac{p_N}{N} < m + \frac{3b}{\sqrt{N}}\right\} \approx 0.997 \quad (3.8)$$

Останнє співвідношення можна переписати у вигляді:

$$P\left\{\left|\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \xi_j - m\right| < \frac{3b}{\sqrt{N}}\right\} \approx 0.997 \quad (3.9)$$

Це надзвичайно важливе для методу Монте-Карло співвідношення, тому що забезпечує метод визначення m та оцінку похибки.

Отже, знайдемо N значень випадкової величини ξ . З формули 3.9 видно, що середнє арифметичне цих значень буде приблизно дорівнювати m . Похибка такого наближення не більше $3b/\sqrt{N}$. З ростом N похибка прямує до 0. На практиці часто орієнтуються не на оцінку інтервалу $3b/\sqrt{N}$, а на імовірну помилку, котра приблизно дорівнює.

3.3. Застосування ЕОМ у теоретичних дослідженнях

Аналіз програмного забезпечення ЕОМ

Розв'язання науково технічних та математичних задач є однією з головних сфер застосування комп'ютера і здійснюється у таких напрямках:

- використання математичних пакетів (електронні таблиці Excel, пакети MathCad, Mathematica, Stat та ін.) для виконання математичних обчислень та графічних залежностей;
- створення спеціальних програм із застосуванням популярних мов програмування (C++, Visual Basic, Delphi).

Перший напрям не вимагає від науковця глибокого знання програмування і дозволяє сконцентруватися саме на розв'язанні відповідної математичної задачі, а не на програмуванні математичних функцій, які вже запрограмовані в пакеті. Великою перевагою математичних пакетів є можливість подати результати обчислень не тільки у числових значеннях, а й у вигляді графіків та діаграм.

Другий напрям вимагає досконалого знання мов програмування і використовується, здебільшого, для створення оригінальних програм для задач, які не розв'язуються за допомогою математичних пакетів. У першу чергу це стосується створення динамічних моделей реальних виробничих процесів з використанням елементів графіки та мультимедіа, які органічно вбудовуються у програму.

Серед існуючих математичних програм найпотужнішим математичним пакетом є *MathCad*, який відповідає запитам як інженера, так і науковця. Однією з найважливіших переваг пакета є реалізація принципу WYSIWYG, який означає, що все відображене на екрані буде надрукованим на папері. Згідно з цим принципом формули у програмі виглядають так само, як у математичних виразах.

Такий підхід до подання формул дозволяє уникнути помилок під час створення програми розрахунку. Система має зручну і досконалу графічну оболонку, яка надає користувачеві значну кількість інструментів для роботи з формулами, числами, графіками та текстом. У MathCad доступні декілька сотень операторів і логічних функцій, які призначені для числового і символного розв'язання математичних задач різної складності. До цих функцій належать функції обчислення статистичних показників, показників регресивного аналізу, матричні обчислення та багато інших, які в першу чергу цікавлять науковців.

Однією з багатьох унікальних розробок MathCad є досконала довідкова та навчальна система з прикладами, які можна не тільки вивчати та переглядати, а й безпосередньо використовувати для прискорення виконання складних обчислень. Усі приклади оформлені у вигляді електронних книг, а головною книгою можна вважати «Центр ресурсів», у якій наведено численні приклади розв'язання типових задач. Існує можливість створення, а також

пошуку персональних електронних книг через Internet.

Деякі завдання наукових досліджень вимагають створення програм із застосування спеціальних сучасних середовищ програмування. Одним із таких середовищ є пакет об'єктно-орієнтовного програмування Delphi, який має досконалий і сучасний графічний інтерфейс, можливості приєднання та використання стандартних функцій Windows, підтримує роботу в локальних мережах, обмінюється даними з іншими програмами в процесі виконання.

Пакет *Delphi* побудований на нових засадах, пов'язаних з операційною системою Windows, об'єктно-орієнтовним програмуванням, технологією візуального проектування, використанням як готових стандартних компонент, так і розроблених користувачем і поміщених у бібліотеку. Завдяки цим якостям науковець може швидко і якісно розробляти програми для тих конкретних завдань, які виникають під час дослідження. Найефективнішим є розроблення складних технологічних процесів, які відрізняються ймовірнісним характером та недостатньо теоретично вивчені. Для дослідження таких процесів необхідно створювати комп'ютерні моделі, які б поєднували графічне зображення процесу, його математичний опис та динамічну зміну впродовж певного часу.

Використання можливостей Delphi й середовища Windows дозволяє:

- під час розроблення на екрані мати всі елементи керування майбутньою програмою; швидко створювати меню користувача;
- одержувати на екрані комп'ютера зображення, які ілюструють програму, вхідні й вихідні дані у вигляді дво- та тривимірних графіків;
- здійснювати імпорт графічних зображень із графічних редакторів замість програмування графіки;
- контролювати зміну вихідних параметрів упродовж роботи.

Програма *COSMOS* – це модуль аналізу методом скінченних елементів, який інтегрований у систему просторового моделювання Solid Works.

Продукт розроблений американською фірмою Structural Research and Analysis Corporation (SPAC). *COSMOS Works* призначений для розв'язання задач механіки твердого тіла, яке знаходиться під дією деформацій, а також виявлення температурних деформацій. Програма використовує геометричну модель деталі або складальну одиницю, яка попередньо створюється в програмі Solid Works для формування розрахункової моделі.

Аналіз методом скінченних елементів починається з апроксимації досліджуваної області та поділу її на комірки сітки. Такі комірки називають *скінченними елементами*. У процесі розрахунку можна задати кількість і форму елементів. Під час апроксимації програма розв'язує систему рівнянь, яка описує напруження, що відповідає кожному вузлу сітки скінченних елементів. Результат виводиться на дисплей комп'ютера в графічному вигляді. Величина напруження в точці відповідає відтінкам кольорів на поверхні досліджуваної моделі деталі.

COSMOS Works може бути використаний для визначення розподілу напружень або температур у перерізах відповідних і навантажених деталей

з інструментальних та конструкційних матеріалів.

4. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД, ЙОГО МІСЦЕ ТА РОЛЬ У НАУКОВОМУ ПІЗНАННІ. ПОНЯТТЯ СИСТЕМИ ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ. МОДЕЛЮВАННЯ ЯК СПОСІБ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

4.1. Системний підхід

Системний підхід – один із головних напрямів методології спеціального наукового пізнання та соціальної практики, мета і завдання якого полягає у дослідженнях певних об'єктів як складних систем. Системний підхід сприяє формуванню відповідного адекватного формулювання суті досліджуваних проблем у конкретних науках і вибору ефективних шляхів їх вирішення.

Методологічна специфіка системного підходу полягає в тому, що метою дослідження є вивчення закономірностей і механізмів утворення складного об'єкта з певних складових. При цьому особлива увага звертається на різноманіття внутрішніх і зовнішніх зв'язків системи, на процес (процедуру) об'єднання основних понять у єдину теоретичну картину, що дає змогу виявити сутність цілісності системи.

Системний підхід – це категорія, що не має єдиного визначення, оскільки трактується надто широко і неоднозначно. У літературі наводяться наступні трактування або визначення системного підходу:

- інтеграція, синтез розгляду різних сторін явища або об'єкта (А. Холл);
- адекватний засіб дослідження і розробки не будь-яких об'єктів, що довільно називаються системою, а лише таких, котрі є органічним цілим (С. Оптнер);
- вираження процедур подання об'єкта як системи та способів їх розробки (В. Садовський);
- широкі можливості для одержання різноманітних тверджень та оцінок, які передбачають пошук різних варіантів виконання певної роботи з подальшим вибором оптимального варіанта (Д. Бурчфільд).

Такий підхід має історичне підґрунтя. Так, до середини ХІХ ст. пізнавальні уявлення про цілісність системи розвивалися на рівні конкретних предметів, при цьому взаємозв'язок та єдність частин були очевидними як за зовнішніми ознаками, так і за властивостями. Спосіб пояснення сутності якогось явища (в ширшому плані) мали механістичний, натурфілософський, метафізичний характер. Водночас розвивалися ідеалістичні погляди на природу цілісності системи, починаючи від простих об'єктів і закінчуючи складними.

На початку ХХ ст. наука піднялася на якісно новий щабель розвитку. Головним її надбанням стала проблема структурної організації та забезпечення функціонування складних системних об'єктів, тому в

сучасній науці формуються та широко використовуються категорії системності. У результаті такого прогресу в процесах наукових досліджень центральне місце займає системний підхід.

Необхідність вирішення наукових і практичних завдань нового типу поєднується з розвитком загальнонаукових і конкретно-наукових (спеціальних) теорій і гіпотез. У процесі їх побудови відобразилися принципи та положення системного підходу. Так, В. І. Вернадський розвинув у 1930–ті роки концепцію про біосферу, в основу якої був покладений новий тип найскладніших системних об'єктів глобального масштабу – біогеоценоз. Ідеї системного підходу застосовуються в екології, фізіології, багатьох напрямках біології, фізики, хімії, а також у психології та суспільних науках.

Друга половина ХХ ст. характеризувалася постановкою та вирішенням системних завдань у суспільній практиці в зв'язку із запровадженням складних технічних і соціально-економічних систем. При цьому різноманітні технічні, організаційні, економічні та соціальні питання і проблеми, методи і засоби їх вирішення концентрувалися навколо єдиних цільових програм. Типовим прикладом можуть бути космічні, енергетичні, технологічні проекти. У цих комплексних програмах значне місце займала все таки проблема типу «людина-машина».

Таким чином, науково-технічна революція характеризується взаємним проникненням (інтеграцією) різних напрямів теорії і практики. Масштабні об'єкти трудової діяльності і наукового пізнання мають складну системну природу, а дослідження складних системних об'єктів потребує гармонійного сполучення аналітичних і синтетичних методів вивчення структури та функцій системи.

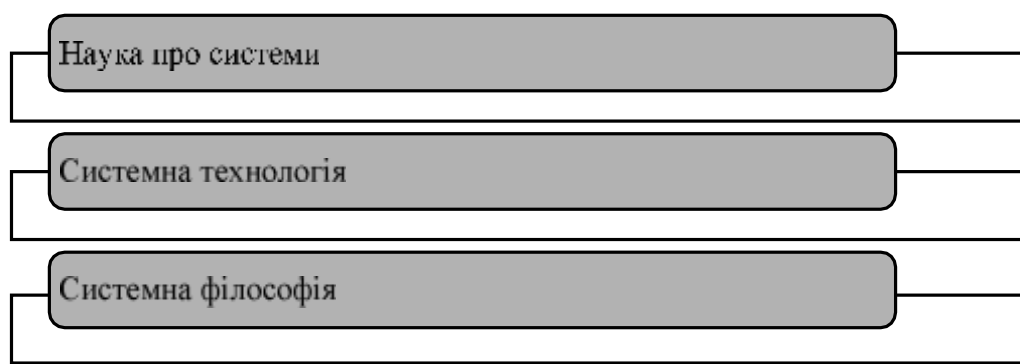
Системний підхід не існує у вигляді чіткої методики з визначеною логічною концепцією. Це – система, утворена із сукупності логічних прийомів, методичних правил і принципів теоретичного дослідження, що виконує таким чином евристичну функцію в загальній системі наукового пізнання. Прогресивне значення системного підходу можна коротко визначити так: предмети (об'єкти) дослідження і принципи системного підходу мають ширші масштаби, зміст і значення порівняно з традиційним рівнем наукового пізнання та практики. Прикладом цього є такі поняття (категорії), як біосфера, біогеоценоз, людина-машина тощо.

Системний підхід містить у собі принципово нову головну установку, спрямовану в своїй основі на виявлення конкретних механізмів цілісності об'єкта і, при нагоді, повної типології його зв'язків. Значні труднощі, які ускладнюють вирішення цього головного завдання, полягають у тому, що виявлення у багатокомпонентних об'єктах різнотипних зв'язків є лише одним із основних завдань дослідження системного об'єкта. З іншого боку, важливо здійснювати порівняння динаміки всього різноманіття зв'язків у співмірному вигляді за логічно однорідним критерієм, загальним для цілісної системи. Так, наприклад, у системі управління обсяг інформації, що надходить до керуючих структур, вимірюють у бітах. Істотним є те, що таким шляхом встановлюється

не лише кількість, а й якість інформації, тобто її зміст для певного каналу зв'язку і системи загалом.

Системний підхід визначає також необхідність розчленування досліджуваних багатокомпонентних об'єктів, на основі принципу найбільшої важливості зв'язків для системи при різноманітті їхніх типів у кожній конкретній складовій системи. Обґрунтований вибір найбільш адекватного варіанта розчленування здійснюється за допомогою відокремлення сумірної одиниці аналізу (наприклад, суб'єкт господарювання, орган державного управління тощо). На такому підґрунті досліджуються основні властивості системного об'єкта при нерозривному зв'язку структури та функції в їх динаміці.

До основних напрямів системних досліджень можна віднести три основних тенденції, які встановив австралійський біолог і філософ Л. фон Бергаланфі (1901–1972):



Наука про системи вивчає принципи застосування системних концепцій у природничих, суспільних науках і науках про поведінку на основі емпіричного дослідження. При цьому основна увага дослідника зосереджується на пізнанні цілого та цілісності, реалізуються підходи до оцінки рівнів складності об'єктів, аналізуються способи взаємодії та взаємовідносин компонентів системи. Для досягнення поставленої мети дослідження, виявлення подібності та ізоморфізму різних систем широко використовуються формальні методи, зокрема математичні моделі.

Системна технологія використовується для розв'язання проблем, що виникають у виробництві та суспільних відносинах, які можна досліджувати на основі теорії систем. Таким чином, у системному аналізі, в процесах управління системами, в дослідженні операцій, інформатизації тощо системний підхід використовується для пошуку практичних розв'язань конкретних проблем.

Системна філософія – це спроба концептуалізації взаємозв'язків і взаємозалежностей між науковими теоріями, котрі сформувались у різних галузях знань, і поєднання розділів традиційної науки в загальних філософських концепціях систем.

Принципи системного підходу. Принципи системного підходу – це загальні положення, що відображають відношення, абстраговані від конкретного змісту наукових і прикладних проблем. Для вирішення конкретної наукової проблеми або проблемної ситуації принципи системного

підходу повинні конкретизуватися, причому конкретизація визначається об'єктом і предметом наукового дослідження. В дослідженні складних систем необхідно виявити суттєві особливості проблеми, врахувати найважливіші взаємозв'язки на основі інтерпретації системних принципів до конкретних умов, що дає змогу досліднику піднятися на вищий рівень розуміння системи загалом, вийти за межі її розгляду «зсередини». Адекватне застосування принципів системного підходу при дослідженні різних систем сприяє розвитку у дослідника особливого, системного типу мислення.

У науковій літературі до основних принципів системного підходу пропонується віднести:

- **принцип остаточної (глобальної, генеральної) мети** – функціонування та розвиток системи і всіх її складових повинні спрямовуватися на досягнення певної глобальної (генеральної) мети. Всі зміни, вдосконалення та управління системою потрібно оцінювати з цієї точки зору;
- **принцип єдності, зв'язаності і модульності** – система розглядається «ззовні» як єдине ціле (принцип єдності), водночас необхідний «погляд зсередини», дослідження окремих взаємодіючих складових (принцип зв'язаності). Принцип модульності передбачає розгляд замість складових системи її входів і виходів, тобто абстрагування від зайвої деталізації за умови збереження можливості адекватного описання системи;
- **принцип ієрархії** – виявлення або створення у системі ієрархічних зв'язків, модулів, цілей. В ієрархічних системах дослідження, як правило, розпочинається з «вищих» рівнів ієрархії, а в разі її відсутності дослідник повинен чітко визначити, в якій послідовності розглядатимуться складові системи та напрямок конкретизації уявлень;
- **принцип функціональності** – структура системи тісно пов'язана та обумовлюється її функціями; отже, створювати та досліджувати систему необхідно після визначення її функцій. У разі появи нових функцій системи доцільно змінювати її структуру, а не намагатися «прив'язати» цю функцію до старої структури;
- **принцип розвитку** – здатність до вдосконалення, розвитку системи за умови збереження певних якісних властивостей. При створенні та дослідженні штучних систем межі розширення функцій системи та її модернізація повинні визначатись їхньою доцільністю. Здатність до розвитку штучних систем визначається наявністю таких властивостей, як самонавчання, самоорганізація, штучний інтелект;
- **принцип децентралізації** – розумний компроміс між повною централізацією системи та здатністю реагувати на вплив зовнішнього середовища окремими частинами системи. Співвідношення між централізацією та децентралізацією визначається метою та

призначенням системи. Повністю централізована система є негнучкою, неспроможною швидко реагувати і пристосовуватися до змінних умов;

- **принцип невизначеності** – у більшості випадків досліджується система, про яку не все відомо, поведінка якої не завжди зрозуміла, невідома її структура, непередбачуваний перебіг процесів, невідомі зовнішні впливи тощо. Частковим випадком невизначеності є випадковість, коли певна подія може відбутись, а може й не відбутись.

4.2. Сутність системного аналізу та його предмет

У процесі системного аналізу створюється абстрактна концептуальна система, котра описується за допомогою символів або інших засобів і є певною структурно-логічною конструкцією, мета якої – слугувати інструментом для розуміння, опису та більш повної оптимізації поведінки реальної системи, зв'язків і відношень її елементів. Такою абстрактною системою може бути математична, комп'ютерна, словесна (вербальна) модель або система моделей. Отже, **системний аналіз** – це методологія дослідження таких властивостей і відношень в об'єктах, які складно спостерігати і важко розуміти за допомогою представлення цих об'єктів у вигляді систем, і вивчення їх властивостей і зв'язків як відношень між цілями та засобами їх реалізації.

Термін «системний аналіз» переважно використовується для характеристики процедури проведення системного дослідження, що полягає в розчленуванні проблеми на її складові, які доступніші для вирішення, у використанні адекватних спеціальних методів для розв'язання окремих підпроблем і, зрештою, в об'єднанні часткових рішень таким чином, щоб проблема була вирішена загалом. Отже, системний аналіз передбачає не лише органічне поєднання аналітичного розчленування проблеми на частини та

дослідження зв'язків і відношень між цими частинами, а й вимагає розгляду цілей і завдань, загальних для усіх частин, потім відповідно до одержаних результатів – здійснення синтезу загального рішення із частковими рішеннями.

Систему в загальному розумінні можна розглядати як спосіб розв'язання певної проблеми, тобто як сукупність усіх необхідних знань, інформації, матеріальних засобів і способів їх використання, організації діяльності людей, що спрямована на розв'язання проблеми. Системний аналіз призначений для правильного вибору системного інструментарію з метою розв'язання поставленої проблеми. Оскільки мета системи формується, як правило, в загальних термінах, її необхідно конкретизувати і довести через послідовні рівні до конкретних критеріїв і показників. Таким чином, **декомпозиція мети** – одне з призначень системного аналізу. Для досягнення мети можуть використовуватися різноманітні засоби з різних сфер діяльності людини, виникає необхідність відокремлення єдиного методу для відбору засобів її досягнення, що відповідають визначеним критеріям, тому ще одне призначення системного аналізу – **встановлення критеріїв відбору засобів**

для досягнення мети. Після визначення цих засобів та способів дій приймаються багатоваріантні рішення. Отже, **обґрунтування вибору рішення** – важливе завдання системного аналізу.

Системний аналіз базується на таких **методологічних принципах**:

- органічна єдність об'єктивного та суб'єктивного в процесі наукового дослідження;
- структурність системи, що визначає цілісність і стійкість її характеристик;
- динамізм системи;
- міждисциплінарний характер системних досліджень;
- органічна єдність формального та неформального при проведенні аналізу.

Системний аналіз застосовується для розв'язання складних проблем, пов'язаних з діяльністю людей. Він не протиставляється іншим методам аналізу проблем і прийняття рішень, але відрізняється синтезом в єдиній методології взаємопов'язаних понять, методів і прийомів, які раніше використовувалися відокремленою при розв'язанні часткових проблем.

Комплекс системних понять і методів розповсюджується також на планування та керування. Системний аналіз дає змогу розкласти складну проблему на компоненти аж до постановки конкретних завдань, для яких існують методи їх реалізації, а, з іншого боку, зберігає цілісність цієї проблеми.

До основних **особливостей** системного аналізу можна віднести такі:

- розглядаються всі теоретично можливі альтернативні шляхи і засоби досягнення мети, оптимальна комбінація та сполучення різних методів і засобів;
- альтернативи оцінюються з позицій перспективи, зокрема для систем, які мають стратегічне значення;
- відсутні стандартні, строго детерміновані рішення;
- чітко розмежовуються різні точки зору при вирішенні однієї проблеми;
- застосовується підхід до проблем, для яких не повністю визначені вимоги щодо термінів реалізації та вартості;
- визнається принципове значення організаційних і суб'єктивних чинників у процесі прийняття рішень і відповідно до цього розробляються процедури широкого застосування якісних (логічних) міркувань в аналізі й узгодженні різних точок зору;
- особлива увага приділяється факторам ризику і невизначеності, їх врахуванню й оцінці при виборі оптимального рішення серед декількох можливих варіантів.

У процесі наукового дослідження та практичної діяльності виникає потреба в розв'язанні проблем трьох видів:

- добре структуровані або кількісно визначені проблеми, в яких суттєві залежності виявлені та виражені у числах і символах (методологія дослідження операцій, математичні методи і моделі тощо);
- неструктуровані або якісно визначені проблеми, що містять лише опис основних ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими зовсім не визначені (евристичні методи, інтуїтивні рішення);
- слабо структуровані або змішані проблеми, котрі містять якісні та кількісні елементи, причому домінують якісні, мало визначені та невизначені сторони проблеми, до яких належать більшість соціальних, економічних, політичних, управлінських, технічних проблем. Типовими є: перспективні (стратегічні) проблеми, що повинні вирішуватись у майбутньому; проблеми, які характеризуються широким набором альтернатив; проблеми, котрі вимагають значних ресурсів і містять елементи ризику; проблеми, що мають складну внутрішню структуру; проблеми, для яких не повністю визначені вимоги щодо вартості і часу. Саме ці проблеми є основною сферою застосування системного аналізу.

Системний аналіз як сукупність методів і засобів розробки, прийняття й обґрунтування рішень у процесі дослідження, утворення та управління системою передбачає:

- прийняття оптимального рішення на основі багатьох альтернатив;
- оцінювання кожної альтернативи з позицій довготривалої перспективи;
- поглиблене розуміння й упорядкування (структуризація) проблеми;
- спрямування на розробку і прийняття нових принципів наукового мислення, яке враховує взаємозв'язки елементів цілого та суперечливі тенденції.

Основне практичне значення системного аналізу полягає не стільки в кількісній визначеності шляхів і способів вирішення проблеми, скільки в зростанні ступеня її розуміння спеціалістами та експертами, котрі беруть участь у вирішенні цієї проблеми, і визначенні альтернативних шляхів досягнення певної мети особами, що відповідальні за ухвалення управлінських рішень.

4.3. Поняття системи та її властивості

Застосування системного підходу як головного принципу побудови, функціонування і розвитку, а також дослідження будь-яких систем (системних об'єктів), передбачає володіння відповідним понятійним (категоріальним) апаратом.

Система (від грец. *systema* – складене з частин, поєднання, складання) –

це об'єктивна єдність закономірно пов'язаних один з одним предметів, явищ, а також знань про природу і суспільство.

Систему визначають також як комплекс елементів та їхніх властивостей, взаємодія між якими зумовлює появу якісно нової цілісності. Наявність істотних стійких зв'язків (відношень) між складовими системи або (та) їхніми властивостями, які перевищують за потужністю (силою) зв'язки (відношення) цих складових з об'єктами, що не входять до цієї системи, є важливим її атрибутом.

До основних характерних особливостей системи можна віднести наступні:

- система є передусім сукупністю елементів. За певних умов елементи, відповідно, можуть розглядатись як системи;
- наявність суттєвих зв'язків між елементами та (або) їх властивостями, що переважають над зв'язками цих елементів з тими, які не входять до даної системи. Під суттєвими зв'язками розуміють лише такі, що закономірно визначають інтегративні властивості системи, і це вирізняє систему з оточуючого середовища як цілісний об'єкт;
- наявність визначеної організації, що проявляється у зменшенні ступеня ентропії (невизначеності) системи порівняно з ентропією системотвірних факторів. До таких факторів належать кількість елементів системи, кількість суттєвих зв'язків, якими може володіти елемент, тощо;
- наявність інтегративних властивостей, тобто властивих системі загалом, але не властивих жодному елементу зокрема. Це свідчить про те, що хоча властивості системи і залежать від властивостей елементів, вони не визначаються ними повністю. Отже система не зводиться до простої сукупності елементів і, розчленовуючи її на окремі частини, неможливо пізнати всі властивості системи загалом.

У загальному вигляді поняття «система» характеризується:

а) множиною елементів; б) зв'язками між ними; в) цілісним характером матеріального об'єкта, явища або процесу.

Можна відокремити такі головні групи властивих системам ознак, які характеризують:

- сутність і складність систем;
- зв'язок систем із зовнішнім середовищем;
- цілеспрямованість систем;
- параметри розвитку та функціонування систем.

Розглянемо детальніше **основні властивості** системи.

Загальність та абстрактність. Як система можуть розглядатися всі без винятку об'єкти, предмети, явища, процеси незалежно від їх природи.

Множинність. Одна і та ж сукупність елементів може утворювати різні системи, кожна з яких визначається конкретними системотвірними відношеннями та властивостями.

Цілісність і подільність. Система є передусім цілісною сукупністю

елементів. Це означає, що, з одного боку, система – це цілісне утворення, а з іншого – в її складі чітко можуть бути відокремлені цілісні об'єкти (елементи). Однак не компоненти утворюють ціле (систему), а, навпаки, – при поділі цілого виявляють компоненти системи. Отже, **первинність цілого** – це головний постулат теорії системи.

Еквіпотенційність. Систему можна розглядати як підсистему системи вищого рівня, і, навпаки, – підсистему можна розглядати як систему зі своєю структурою, функціями, зв'язками між елементами.

Неадитивність системи (емерджентність). Властивості системи хоча і залежать від властивостей її елементів, але не визначаються ними повністю. Функціонування системи не може бути зведено до функціонування окремих її компонентів. Сукупне функціонування взаємозв'язаних елементів системи породжує якісно нові її функціональні властивості. Звідси випливає важливий висновок: система не зводиться до простої сукупності елементів, тому, розділяючи її на частини, досліджуючи кожен з них окремо, неможливо пізнати всі властивості системи загалом. Цю властивість ще називають системною або **інтегративною**. Емерджентність є результатом виникнення між елементами системи так званих **синергічних зв'язків**, які забезпечують більший загальний ефект функціонування системи, ніж сума ефектів елементів системи, що діють незалежно.

Синергетика (від грец. *synergetikos* – спільний, погоджений, діючий) науковий напрям, що вивчає зв'язки між елементами структури (підсистемами), які утворюються у відкритих системах (біологічних, фізико-хімічних, економічних, соціальних та ін.) завдяки інтенсивному (потоківому) обміну речовинами й енергією з навколишнім середовищем за нерівноважних умов. У складних системах спостерігається погоджена поведінка підсистем, у результаті чого зростає рівень її впорядкованості (явище самоорганізації), тобто зменшується ентропія. Це, зокрема, стосується економічних і соціальних систем. Результатом самоорганізації стає виникнення взаємодії (наприклад, кооперація) і, можливо, регенерація динамічних об'єктів (підсистем), складніших в інформаційному аспекті, ніж елементи (об'єкти) середовища, з яких вони виникають.

Ієрархічність системи – це складність і багаторівневість структури системи, яка характеризується такими показниками: кількість рівнів ієрархії побудови та управління системою, різноманіття компонентів і зв'язків, складність поведінки та неадитивність властивостей, складність опису й управління системою, кількість параметрів і необхідний обсяг інформації для управління системою. Ієрархічність системи полягає також у тому, що систему можна розглядати як елемент системи вищого порядку (надсистеми), а її елементи – як системи нижчого порядку.

Взаємозалежність між системою та зовнішнім середовищем. Система формує та проявляє свої властивості при взаємодії із зовнішнім середовищем. Вона розвивається під впливом зовнішнього середовища, але при цьому намагається зберегти власну якісну визначеність і властивості,

що забезпечують відносну стійкість її функціонування.

Рівень самостійності і відкритості системи визначається такими показниками: кількістю зв'язків системи із зовнішнім середовищем у середньому на один її елемент чи інший параметр; інтенсивністю обміну інформацією чи ресурсами між системою та зовнішнім середовищем; ступенем впливу інших систем.

Цілеспрямованість системи означає наявність у неї цілі (цілей) функціонування і розвитку. При цьому цілі характеризуються власною структурою та ієрархією.

Надійність системи (наприклад, організації) характеризується, зокрема: безперервністю функціонування системи при виході з ладу одного з компонентів; фінансовою стійкістю і платоспроможністю організації; перспективністю запровадженої економічної, технічної, соціальної політики.

Розмірність системи характеризується кількістю компонентів системи та зв'язків між ними, що також свідчить про складність системи.

Застосування системного підходу в процесі наукового дослідження, зокрема в галузі державного управління та державної служби, передбачає дотримання наступних системних принципів [21; 30; 36]:

Принцип	Характеристика
<i>Цілісність</i>	– принципова незведеність властивостей системи до суми властивостей елементів, що її складають, і неможливість виведення з останніх властивостей цілого, залежність кожного елемента від його місця, ролі, функцій тощо в межах системи
<i>Структурність</i>	– можливості опису системи через встановлення її структури, тобто зв'язків і відношень елементів, обумовленість поведінки системи не стільки поведінкою окремих елементів, скільки властивостями її структури
<i>Взаємозалежність структури і середовища</i>	– система формує і виявляє свої властивості в процесі взаємодії із зовнішнім середовищем, при цьому вона є провідним активним компонентом цієї взаємодії
<i>Ієрархічність</i>	– кожний компонент системи, відповідно, може розглядатись як система, а досліджувана система – як один із компонентів ширшої, глобальнішої системи;

Множинність опису кожної системи	– внаслідок принципової складності кожної системи її адекватне пізнання потребує побудови множини різних моделей, кожна з яких описує лише один аспект системи
---	--

Системи функціонують у певному зовнішньому середовищі. **Зовнішнє середовище** – це все те, що знаходиться зовні системи, поза її межами, включаючи необхідні умови для існування та розвитку системи. Зовнішнє середовище складається із багатьох природних, суспільних, інформаційних, економічних, виробничих та інших факторів, які впливають на систему та й самі певною мірою перебувають під впливом цієї системи.

Система може взаємодіяти із середовищем через:

- призначення, тобто, якщо призначення системи несумісне з середовищем, то необхідно або модифікувати призначення, або модифікувати систему та пристосовувати її до середовища;
- побудову, тобто компоненти системи повинні гармонійно взаємодіяти як між собою, так і з середовищем;
- оцінку, тобто рівень сумісності системи з середовищем, ефективність реалізації її призначення, можливість реалізації додаткових цілей.

Взаємодія між системою та зовнішнім середовищем здійснюється за допомогою входів і виходів. **Вхід системи** – це дія на неї зовнішнього середовища. **Вихід системи** – це результат функціонування системи для досягнення певної мети або її реакція на вплив зовнішнього середовища. Загальна кількість взаємодій системи із зовнішнім середовищем дуже велика, тому на практиці та в процесі наукового дослідження обмежуються аналізом найсуттєвіших зв'язків, вибір яких визначається конкретними умовами управління тим чи іншим об'єктом. При дослідженні взаємодії системи із зовнішнім середовищем широко застосовується кібернетична ідея «чорної скриньки», запропонованої Н. Вінером (рис. 4.1).

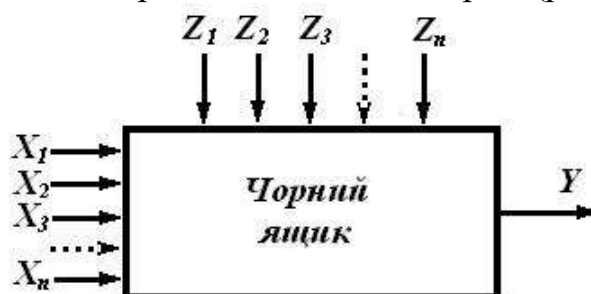


Рис. 4.1. Модель системи на основі принципу «чорна скринька»

Ця максимально спрощена модель відображає дві важливі властивості системи – цілісність і відокремленість від середовища. Однак, система не є ізольованою від зовнішнього середовища, а пов'язана з ним

зв'язками, через які здійснює певний вплив, реалізуючи своє призначення, мету (виходи системи). Крім цього, повинні існувати зв'язки іншого типу, що забезпечують її використання, тобто дію на систему з боку середовища (входи системи). Назва «чорна скриня» образно підкреслює повну відсутність інформації про внутрішню будову системи; в цій моделі фіксуються лише вхідні та вихідні зв'язки із середовищем.

4.4. Класифікація систем

Класифікація систем передбачає їх поділ на матеріальні та абстрактні.

Матеріальні системи є реальними об'єктами, що існують у реальному часі. Вони поділяються на **природні і штучні**. Природні системи – сукупність об'єктів природи, а штучні – організаційно- економічних, соціальних або технічних об'єктів. До природних систем належать астрокосмічні, планетарні, фізичні, хімічні системи тощо.

Абстрактні системи – розумово-зорові уявлення, зображення або моделі матеріальних систем, які поділяються на **логічні та символічні**.

Логічні системи є результатом дедуктивного або індуктивного представлення матеріальних систем. Їх можна розглядати як системи понять і визначень про структуру, стан та основні закономірності зміни стану матеріальних систем.

Символічні системи є формалізацією логічних систем. Вони поділяються на три класи:

1. Статичні математичні системи або моделі, котрі можна розглядати як опис засобами математичного апарату стану матеріальних систем;
2. Динамічні математичні системи або моделі, котрі можна розглядати як математичну формалізацію процесів розвитку матеріальних систем;
3. Квазістатистичні системи, що знаходяться в нестійкому положенні між статикою та динамікою і при одних впливах поведуть себе як статичні, а при інших – як динамічні.

У літературі наводяться й інші класифікації систем. Так, проф. Ю. Черняк пропонує наступний поділ систем.

1. **Великі системи (ВС)** – це системи, котрі не можна спостерігати одночасно з позиції одного спостерігача або в часі, або в просторі. У таких випадках система розглядається послідовно по частинах із поступовим переміщенням з нижчого на вищий рівень.
2. **Складні системи (СС)** – це системи, які не можна скомпонувати з певних підсистем. Це означає, що:
 - а) спостерігач послідовно змінює свою позицію стосовно об'єкта і спостерігає його з різних сторін;
 - б) різні спостерігачі досліджують об'єкт з різних сторін.
3. **Динамічні системи (ДС)** – це системи, котрі постійно змінюються.

Будь-яка зміна, що відбувається в системі, називається *процесом*. Якщо система характеризується одним варіантом поведінки, її називають *детермінованою*.

Імовірнісна система – це система, поведінку якої можна передбачити з певним рівнем імовірності на основі дослідження її минулої поведінки.

Динамічні системи характеризуються наступними властивостями:

- рівновага – здатність повертатися до початкового стану, компенсуючи вплив зовнішнього середовища;
- самоорганізація – здатність відновлювати свою структуру або поведінку для компенсації зовнішнього середовища;
- інваріантність поведінки – те, що залишається в поведінці системи незмінним у будь-який відрізок часу.

4. **Кібернетичні або керуючі системи (КС)** – це системи, з допомогою яких досліджуються процеси управління в технічних, біологічних, економічних і соціальних системах. Центральним поняттям в цьому випадку є *інформація* як засіб впливу на поведінку системи.

5. **Цілеспрямовані системи (ЦС)** – це системи, які володіють цілеспрямованістю. Досягнення цілі у більшості випадків має ймовірнісний характер. За способом керування системи поділяються на: *керовані ззовні, самокеровані та з комбінованим керуванням*. У керованих ззовні системах керуючий блок знаходиться за межами системи; в системах із комбінованим керуванням управління здійснюється частково ззовні, а частково – в межах систем.

У теоретико-пізнавальному плані виокремлюють три *можливі аспекти розгляду систем*:

- 1) система розглядається як взаємопов'язаний комплекс матеріальних об'єктів;
- 2) система охоплює, з одного боку, набір матеріальних об'єктів, а з іншого – інформацію про їхній стан;
- 3) система розглядається в інформаційному аспекті як комплекс відношень, зв'язків, інформації.

Кожний із цих підходів потребує відповідного специфічного наукового інструментарію для розв'язання трьох різних видів завдань.

Підсистемою називають сукупність елементів, які об'єднані єдиним процесом функціонування та при взаємодії реалізують певну функцію чи операцію, що необхідні для досягнення поставленої перед системою мети.

Надсистемою називають систему вищого рівня ієрархії, ширшу, глобальну систему, в яку досліджувана входить як складова частина.

Головним системотвірним фактором є **функції системи**. Існує кілька думок стосовно того, що таке функція системи. Так, під функцією системи можна розуміти перетворення її входів у виходи. З іншої токи зору, функція системи може полягати у збереженні її існування, підтримці структури та впорядкованості. Іноді функцію системи ототожнюють із функціонуванням цієї ж системи, визначаючи її як спосіб, засіб або як дію

для досягнення цілей системи.

Функція системи – це все те, що виконує система або може виконувати відповідно до свого призначення. Множина функцій системи є перетворення призначення системи в дії, тобто сукупність послідовних її станів у просторі та часі.

Окрім функції, до системотвірних факторів належить мета та ціль системи. **Мета** – це головне призначення системи, яке не є детермінованим і фіксованим, а може змінюватись у часі й не обов'язково єдино можливим чином. Мета конкретизується за допомогою цілей. **Ціль системи** – це бажаний стан її виходів. Системи, що мають ціль, називають **цілеспрямованими**. Цілі в часовому аспекті поділяються на: **тактичні, стратегічні та ідеали**. Тактична ціль – це бажані результати, досягнення яких відбувається за визначений і порівняно короткий період часу. Стратегічні цілі досягаються за довший час за умови досягнення тактичних цілей. Ідеал – це така ціль, що ніколи не досягається, але до якої система постійно прагне, реалізуючи тактичні і стратегічні [30].

За наявністю інформації про способи досягнення виокремлюють:

- функціональну ціль – ціль, шляхи та способи досягнення якої вже відомі, а тому повторюються у часі та просторі;
- ціль-аналог, яка є результатом дії іншої системи, але ніколи не реалізувалася системою, що досліджується, а коли й досягалась, то за інших зовнішніх умов;
- ціль розвитку – нова ціль, яка ніколи раніше не досягалась, вона по суті пов'язана з утворенням нової системи.

Системотвірним фактором є також **стан системи**, що характеризується кількісними та якісними значеннями внутрішніх параметрів системи у певний момент. Зміна довільної кількості цих характеристик означатиме перехід системи до іншого стану. Функціонування системи, яке проявляється у зміні її станів, що відповідає неперервній чи дискретній зміні певної характеристики, називають **поведінкою** або **рухом**. Найчастіше таким параметром є час. Отже, поведінка системи – це розгорнута в часі послідовність реакцій системи на внутрішні зміни та зовнішній вплив.

Ще одним системотвірним фактором є наявність **рівноваги**, тобто здатності системи зберігати свій стан незмінним якомога довше. Під **стійкістю** розуміють здатність системи повертатись у стан рівноваги після виведення її з цього стану впливом зовнішніх факторів. Стан рівноваги, в який система здатна повертатись, називають **стійким станом рівноваги**.

4.5. Зв'язки (потоки). Види зв'язків

Зв'язок – це одна з категорій, що найчастіше застосовується в системному аналізі. Зв'язок (потік) є важливим, з точки зору дослідження або керування системою, обміном речовиною, енергією, інформацією між системою і зовнішнім середовищем, а також між елементами системи. Функції системи реалізуються через зв'язки, тобто через потоки енергії,

людей, матеріальні та інформаційні. Структура ініціоє потоки, спрямовуючи їх певними каналами, перетворює з певною затримкою в часі. Зв'язки, які необхідні для збереження структури, називаються підтримуючими, а ті, що є результатом функціонування системи, – потоками продукції. Зв'язок між предметами (процесами, подіями, явищами) можна визначити наступним чином: два та більше об'єктів пов'язані, якщо за наявності або відсутності деяких властивостей в одних ми можемо робити висновки про їхню наявність або відсутність в інших. Ця властивість зв'язків й обумовлює особливу пізнавальну цінність їх виявлення. Дослідження зв'язків дає змогу пізнавати об'єкти не безпосередньо, а опосередковано, через інші об'єкти, що знаходяться з ними в тому чи іншому зв'язку.

Між елементами довільної системи та між різними системами існують **зв'язки**, за допомогою яких вони взаємодіють між собою. Ці зв'язки можуть виражатися в обміні речовиною, енергією чи інформацією між взаємодіючими системами або елементами. Система може мати зовнішні та внутрішні зв'язки. Зв'язки можуть бути також як прямими, так і зворотними. Системи мають цілком нові якості, що відсутні в елементах системи. Ці якості виникають саме завдяки наявності зв'язків між елементами.

Зворотні зв'язки є складною формою прояву причинної залежності і полягають у тому, що результат попередньої дії впливає на наступний перебіг процесу в системі, тобто причина підпадає під зворотний вплив наслідку. Якщо зворотний зв'язок підсилює результат впливу наслідку, то його називають позитивним, а якщо послаблює – негативним.

Системний підхід у науковому дослідженні передбачає наявність класифікації зв'язків, зокрема:

- **Зв'язки взаємодії (координації)**, серед яких можна розрізнити зв'язки об'єктів. Особливий вид зв'язків взаємодії – це зв'язки між окремими людьми, а також між колективами та соціальними групами. Специфіка їх полягає в тому, що вони опосередковуються цілями, які ставить перед собою кожна зі сторін взаємодії. У цьому виді зв'язків можна розрізнити кооперативні та конфліктні. Слід зазначити, що зв'язки взаємодії – найширший клас зв'язків, так чи інакше присутній у всіх інших типах зв'язків.
- **Зв'язки породження (генетичні)**, коли один об'єкт є основою, що породжує до життя інший об'єкт.
- **Зв'язки перетворення**, серед яких можна розрізнити ті, котрі реалізуються через певний об'єкт, що забезпечує це перетворення, і ті, які реалізуються шляхом безпосередньої взаємодії двох або більше об'єктів, у процесі якої чи завдяки якій ці об'єкти разом або окремо переходять з одного стану в інший.
- **Зв'язки побудови (структурні)**, котрі передбачають, що наявність одних елементів системи обумовлює необхідність інших елементів, які взаємодіють з першими.

- **Зв'язки функціонування**, що забезпечують життєдіяльність об'єкта або його діяльність. Об'єкти, які поєднуються такими зв'язками, спільно виконують певну функцію, причому ця функція може характеризувати або один об'єкт, або більш широке ціле, стосовно якого й існує функціональний зв'язок цих об'єктів.
- **Зв'язки розвитку**, які можна розглядати як модифікацію функціональних зв'язків і зв'язків стану з тією різницею, що розвиток суттєво відрізняється від простої зміни стану.

Розвиток описується як зміна станів об'єкта, що розвивається, однак основним змістом процесу при цьому є достатньо суттєві зміни в побудові об'єкта і формах його життєдіяльності. Таким чином, системний об'єкт вимушений виходити на інший рівень функціонування, раніше недоступний або неможливий для нього, а умовою такого виходу є зміна його організації.

Зв'язки управління, які залежно від конкретного виду можуть утворювати різновид або функціональних зв'язків, або зв'язків розвитку.

Крім наведеної, існують й інші класифікації зв'язків, наприклад суттєві й несуттєві, внутрішньосистемні та міжсистемні, взаємні та односторонні, суперечливі та несуперечливі, корисні та шкідливі, слабкі та тісні, важливі і неважливі, жорсткі та гнучкі.

Особливу увагу доцільно звернути на наступні три види зв'язків.

Рекурсивний – необхідний зв'язок між соціально-економічними явищами та об'єктами, при яких є очевидним, де причина, а де наслідок.

Синергічний – це зв'язок, який при спільних діях незалежних елементів системи забезпечує зростання загального ефекту до більшого значення, ніж сума ефектів цих елементів, якщо вони діють незалежно. Отже, це підсилюючий зв'язок елементів системи.

Циклічний – складний обернений зв'язок, при якому функціонування або розвиток однієї підсистеми створює основу для функціонування та розвитку другої і навпаки.

4.6. Сутність методу моделювання

В межах системного аналізу часто використовується **метод моделювання**. Системний аналіз використовує апарат моделювання для розв'язування задач дослідження об'єкта, проектування нової системи та організації управління.

Моделювання є одним із способів пізнання, який полягає в заміні деякого об'єкта іншим об'єктом, який має подібні властивості. Тобто **метод моделювання** є одним із способів опосередкованого пізнання. Моделювання – це завжди зіставлення відомого з невідомим за аналогією.

Призначення методу моделювання

Систематизація та узагальнення теоретичних даних за допомогою опосередкованого пізнання об'єкта-замісника, тобто моделі досліджуваного явища

Дослідження залежності кінцевих результатів роботи системи від її характеристик

Люди завжди використовували моделювання, намагаючись з його допомогою відтворити абстрактні ідеї й реальні об'єкти. Моделювання охоплює широкий діапазон аспектів людського спілкування – від наскального живопису і спорудження ідолів до складання систем складних математичних рівнянь, що описують політ ракети у космічному просторі. При цьому головним є те, що *подібність між об'єктом і моделлю суттєва, а різниця несуттєва*.

Модель – це представлення реального об'єкта, системи або поняття у вигляді, що відрізняється від його реального стану існування. Модель є провідною ланкою між дослідником та об'єктом, виконує функції заміника об'єкта та дозволяє отримати нові знання про цей об'єкт. Модель є джерелом інформації про об'єкт і допомагає пояснити, зрозуміти або вдосконалити цей об'єкт. Модель може бути точною копією об'єкта (хоча виконана з іншого матеріалу та в іншому масштабі) або відображати деякі характерні властивості об'єкта в абстрактній формі.

При моделюванні можливі різні рівні аналогій. Найвищий рівень – коли модель тотожна самому об'єкту. Однак в цьому випадку втрачається зміст моделювання. З іншого боку надмірне спрощення моделі призводить до невідповідності досліджуваному об'єкту.

Доцільність моделі як засобу усвідомлення реальних зв'язків і закономірностей очевидна: вона допомагає упорядкувати нечіткі й суперечливі поняття. У техніці моделі служать для проектування нових досконаліших систем та вивчення їх основних функцій, властивостей, зв'язків.

Модель як засіб осмислення дійсності дає можливість впорядкувати та формалізувати початкові уявлення про об'єкт дослідження. У процесі побудови моделі виявляються суттєві взаємозв'язки та залежності, послідовність дій (алгоритм) і необхідні ресурси. Як засіб спілкування модель дає змогу точніше сформулювати основні поняття і стисло описати систему, дозволяє пояснити причинно-наслідкові зв'язки та загальну структуру системи, що досліджується та моделюється.

4.7. Основні функції та етапи побудови моделей систем

Основні функції моделей систем:

- пізнавальні;
- прагматичні.

Вони можуть використовуватися як **засоби**:

- осмислення дійсності;
- формального опису причинно-наслідкових зв'язків та структури системи;
- спілкування;
- навчання, імітації та прогнозування поведінки системи;
- імітаційного експерименту;
- прогнозування;

- здійснення експериментів
- використання в задачах управління та оптимізації.

Моделі зручно розглядати у вигляді безперервного спектра, який починається від точних моделей чи макетів до повністю абстрактних математичних рівнянь.

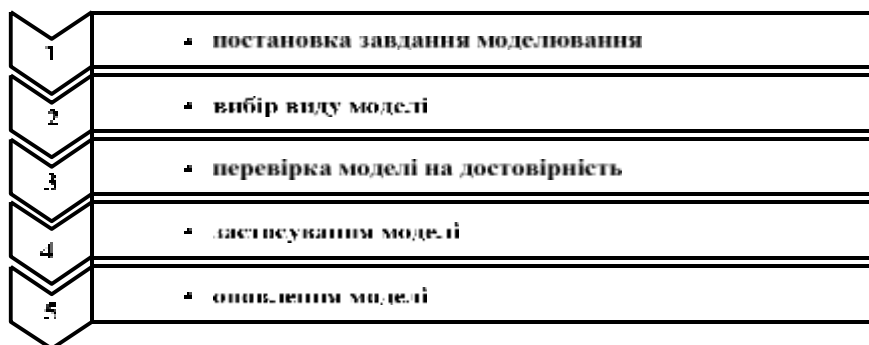
Основні властивості моделі:

- скінченність (повнота) – відображається скінчена кількість відношень елементів системи;
- складність (спрощеність) – виходить із необхідності оперування моделлю;
- точність (наближеність) по відношенню до реальної системи.

Адекватність є основною характеристикою побудованої моделі. Поняття адекватності слугує для оцінки рівня виконання вимог повноти та точності, необхідного для досягнення мети моделювання. Ступінь адекватності моделі перевіряється експериментальним шляхом на основі введення міри адекватності.

Використання моделей для навчання і тренування сприяє підвищенню ефективності та скороченню тривалості навчання. Імітація різноманітних практичних ситуацій на моделі, особливо проблемних і критичних, інформація про дії попередників підвищує якість освіти. Як засіб проведення наукового експерименту модель застосовується в тих випадках, коли проведення реального експерименту неможливе або недоцільне.

Етапи процесу побудови моделі



Система описується як *ієрархічне утворення*, тобто не однією моделлю, а кількома чи групою моделей, кожна з яких описує поведінку системи з погляду різних рівнів абстрагування. Для кожного рівня ієрархії існують характерні особливості та змінні, закони та принципи, за допомогою яких описується поведінка системи.

Стратифікація системи – процес поділу системи на рівні, що характеризують різні аспекти її функціонування.

На кожній страті в ієрархії структур є власний набір змінних, які дають змогу обмежитися лише дослідженням одного аспекту системи, однієї страти.

Найпростіша модель системи – *модель «чорної скрині»*, в якій акцент робиться на функціях і поведінці системи, а про її будову є лише опосередкована інформація, що відображається у зв'язках із зовнішнім середовищем. Зв'язки із середовищем, які йдуть у систему (входи), дають

можливість впливати на неї, використовувати її як засіб, а зв'язки, що йдуть із системи (виходи), є результатами її функціонування, які або впливають на зміни в середовищі, або споживаються зовні системи.

Рівні дослідження та моделювання систем

Мікрорівневе моделювання	Макрорівневе моделювання
<ul style="list-style-type: none"> детальний опис кожного компонента системи, дослідження її структури, функцій взаємозв'язків тощо 	<ul style="list-style-type: none"> ігнорування детальної структури системи та вивчення лише загальної поведінки системи як єдиного цілого

4.8. Класифікація моделей

Основними класифікаційними ознаками моделей є:

- акценти дослідження системи;
- властивості областей зміни параметрів та змінних;
- спосіб опису невизначеності;
- урахування інерційності;
- спосіб задавання відношень між параметрами та змінними;
- призначення;
- форма представлення властивостей системи.

За ступенем визначеності:

- детерміновані моделі, для яких характерним є те, що при певних значеннях вхідних параметрів на виході можна отримати лише один результат;
- стохастичні моделі, в яких змінні, параметри та умови функціонування, стан системи є випадковими величинами та пов'язані стохастичними залежностями;
- невизначені моделі, в яких розподіл ймовірностей певних параметрів може або взагалі не існувати, або ж бути невідомим.

За закономірностями зміни своїх параметрів:

- *дискретні*, для яких характерно, що множини припустимих значень вхідних і вихідних параметрів є дискретними;
- *неперервні*, у яких всі змінні та параметри – неперервні.
- *дискретно–неперервні*.

За фактором часу:

- *статичні* – всі параметри та залежності співвіднесено до одного моменту часу, тобто в явному вигляді відсутня залежність від часу;
- *динамічні* – значення параметрів явно залежать від часу.

Залежно від засобів описування та оцінки:

- *дескриптивні* – не використовуються визначені критерії ефективності функціонування системи, тому з їх допомогою лише описується, аналізується її поведінка;
- *нормативні* – характеризують норму функціонування системи і використовуються в процесі прийняття управлінських рішень, при проектуванні систем.

За природою моделі:

- *предметні* (природні та штучні);
- *знакові* (*мовні* (вербальні) та *математичні* (аналітичні та імітаційні)).

За способом задавання відношень між параметрами та змінними:

- *лінійні* – описують прості системи;
- *нелінійні* – володіють властивістю синергізму.

Для вивчення внутрішньої структури системи використовують:

- *моделі складу* – відображають, з яких елементів і підсистем складається система;
- *моделі структури* – відображають відношення між елементами та зв'язки між ними.

Для прогнозування використовуються так звані *прогностичні моделі*, що дають змогу передбачити поведінку системи в майбутньому на основі інформації про її ретроспективу.

За способом відображення реальних явищ, які відбуваються в об'єкті, моделювання поділяється на:

- фізичне, що тільки зберігає фізичну природу явища;
- математичне, основою якого є відповідність рівнянь, які описують процеси моделі, реаліям досліджуваного явища;
- геометричне, за якого відображаються тільки зовнішні форми.

При дослідженні економічних, соціальних, адміністративних систем найчастіше застосовують методи математичного, структурного, ситуаційного, інформаційного та імітаційного моделювання.

Математичне моделювання дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

Імітаційне моделювання дає змогу відтворити процес функціонування системи у часі. При цьому імітуються основні явища, що утворюють процес.

Інформаційне (кібернетичне) моделювання використовують для побудови моделей, для яких відсутні безпосередні аналоги фізичних процесів.

Структурне моделювання базується на специфічних особливостях структур певного вигляду.

Ситуаційне моделювання базується на модельній теорії мислення, в

рамках якої можна описати основні механізми регулювання процесів прийняття рішень. В основі модельної теорії мислення є формування у свідомості та підсвідомості людини інформаційної моделі об'єкта чи зовнішнього світу.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1. Сутність експерименту, загальні вимоги до проведення

Однією з важливих складових наукових досліджень є **експеримент**. Термін «експеримент» походить від. лат. *experimentum* – спроба, дослід і вживається для позначення низки споріднених понять: *дослід, цілеспрямоване спостереження, відтворення об'єкта дослідження, організація особливих умов його існування, перевірка передбачень*. Отже, поняття «експеримент» означає проведення у визначених умовах серії дослідів для спостереження за станом об'єкта дослідження, які дозволяють стежити за його змінами і відтворювати їх кожний раз під час повторення дослідів.

Основною **метою** експериментів є визначення властивостей об'єктів дослідження та перевірка справедливості гіпотез і на цій основі широке вивчення теми наукового дослідження.

Загальні вимоги до проведення експерименту

При проведенні експерименту потрібно дотримуватися таких загальних вимог:

- об'єкт дослідження повинен допускати можливість опису системи змінних, що визначають його функціонування;
- потрібно мати можливість проведення якісних та кількісних вимірів факторів, які впливають на об'єкт дослідження, зміну його стану або поведінки під час експерименту;
- опис об'єкта експериментального дослідження потрібно проводити в системі його складових;
- потрібне обов'язкове визначення та опис умов існування об'єкта дослідження (галузь, тип виробництва, умови праці тощо);
- потрібно мати чітко сформульовану експериментальну гіпотезу про наявність причинно-наслідкових зв'язків;
- необхідне предметне визначення понять сформульованої гіпотези експерименту;
- потрібне обґрунтоване виділення незалежної та залежної змінних;
- потрібний обов'язковий опис специфічних умов діяльності об'єкта дослідження (місце, час, соціально-економічна ситуація тощо).

Типові помилки в проведенні експерименту

- Сформульовані гіпотези не відбивають проблемну ситуацію, суттєві залежності у даного об'єкта.

- Як незалежну змінну виділено фактор, який не може бути причиною, сталою детермінантою процесів, що відбуваються у даному об'єкті.
- Зв'язки між залежною та незалежною змінною мають випадковий характер.
- Допущено помилки в попередньому описі об'єкта, що призвело до неправильної емпіричної інтерпретації змінних і вибору неадекватних показників.
- Допущено помилки при формулюванні дослідних і контрольних вихідних результатів експерименту, виявляється значна їх різниця, що викликає сумніви в можливості порівняти ці групи за складом змінних.
- Важко підібрати контрольний об'єкт за однорідними або схожими з експериментальними параметрами.
- При аналізі результатів експерименту переоцінюється вплив незалежної змінної на залежну без урахування впливу випадкових факторів на зміни в експериментальній ситуації.

5.2. Класифікація експериментів

- 1) **За призначенням об'єкта експерименту:** *природничо-наукові, виробничі, педагогічні, соціологічні, економічні тощо.*
- 2) **За характером зовнішніх впливів на об'єкт дослідження:** *речовинні, енергетичні, інформаційні.*
 - **Речовинний експеримент** передбачає вивчення впливу різних речовинних факторів на стан об'єкта дослідження, наприклад, вплив різних домішок на якість сталі.
 - **Енергетичний експеримент** використовується для вивчення впливу різних видів енергії (електромагнітної, механічної, теплової тощо) на об'єкт дослідження.
 - **Інформаційний експеримент** використовується для вивчення впливу інформації на об'єкт дослідження.
- 3) **За характером об'єктів та явищ, що вивчаються в експерименті:** *технологічні, соціометричні тощо.*
 - **Технологічний експеримент** спрямований на вивчення елементів технологічного процесу (продукції, обладнання, діяльності робітників тощо) або процесу в цілому.
 - **Соціометричний експеримент** використовується для вимірювання існуючих міжособистісних соціально-психологічних відносин у малих групах з метою їх подальшої зміни.
- 4) **За структурою об'єктів та явищ, що вивчаються в експерименті:** *прості та складні.*
 - **Простий експеримент** використовується для вивчення простих об'єктів, які мають у своєму складі невелику кількість взаємозв'язаних та взаємодіючих елементів, що виконують прості функції.
 - **У складному експерименті** вивчаються явища або об'єкти з розгалуженою структурою та великою кількістю взаємозв'язаних та

взаємодіючих елементів, що виконують складні функції.

5) **За способом формування умов проведення експерименту: природні та штучні.**

- **Природні експерименти** характерні для біологічних, соціальних, педагогічних, психологічних наук, наприклад, при вивченні соціальних явищ (соціальний експеримент) в обставинах, наприклад, виробництва, побуту тощо.
- **Штучні експерименти** широко використовуються в багатьох природничо-наукових або технічних дослідженнях. У цьому випадку вивчаються явища, що ізольовані до потрібного стану, для того щоб оцінити їх в кількісному та якісному відношеннях.

б) **За організацією проведення експерименту: лабораторні, натурні, польові, виробничі, відкриті або закриті тощо.**

- **Лабораторні дослідження** проводять з використанням типових приладів, спеціальних моделюючих установок, стендів, обладнання тощо.
- **Натурний експеримент** проводиться в природних умовах та на реальних об'єктах. Залежно від місця проведення натурні експерименти поділяють на виробничі, польові, полігонні тощо.

Експерименти можуть бути **відкритими та закритими**. Такі типи експериментів значно поширені в психології, соціології, педагогіці. У відкритому експерименті його завдання відкрито пояснюються тим, хто досліджується, у закритому – для одержання об'єктивних даних завдання експерименту приховуються.

7) **За характером взаємодії засобу експериментального дослідження з об'єктом дослідження: звичайні та модельні.**

- **Звичайний (класичний) експеримент** включає експериментатора, об'єкт або предмет експериментального дослідження та засоби, за допомогою яких проводиться експеримент.
- **Модельний експеримент** базується на використанні як об'єкта, що досліджується, моделі, яка може не тільки замінювати в дослідженні реальний об'єкт, але і умови, в яких він вивчається.

8) **За типом моделей, що досліджуються в експерименті: матеріальні та розумові.**

- **Матеріальний експеримент** є формою об'єктивного матеріального зв'язку свідомості з зовнішнім світом. У матеріальному експерименті використовуються матеріальні об'єкти дослідження.
- **Розумовий (ідеалізований, уявний) експеримент** є однією з форм розумової діяльності суб'єкта, у процесі якої в його уяві відтворюється структура реального експерименту, тобто засобами розумового експерименту є розумові моделі (чуттєві образи, образно-знакові моделі, знакові моделі).

9) **За величинами, що контролюються в експерименті: пасивні та активні.**

- **Активним** називають експеримент, під час виконання якого

дослідник може, за своїм бажанням, змінити рівень факторів і активно втручатись у процес дослідження. У цих умовах дослідник може планувати як однофакторний, так і багатофакторний експеримент.

- **Пасивним** називають експеримент, яким неможливо керувати. Умови проведення такого експерименту змінюються без участі дослідника. Постановка такого експерименту є простою, але точність результатів набагато нижча порівняно з активним експериментом. Рекомендації, розроблені на основі пасивного експерименту, мають значення тільки для умов його проведення.

10) **За способом формування умов** – лабораторні, виробничі.

11) **За метою дослідження** – констатуючі, контролюючі, пошукові, вирішальні;

- **Перетворюючий (творчий) експеримент** включає активну зміну структури та функцій об'єкта дослідження у відповідності до висунутої гіпотези, формування нових зв'язків та відносин між компонентами об'єкта або між досліджуваним об'єктом та іншими об'єктами.

- **Констатуючий експеримент** використовується для перевірки відповідних передбачень. У процесі такого експерименту констатується наявність визначеного зв'язку між впливом на об'єкт дослідження та результатом.

- **Контролюючий експеримент** зводиться до контролю за результатами зовнішніх впливів на об'єкт дослідження з урахуванням його стану, характеру впливу та ефекту, що очікується.

12) **За характером взаємодії засобів дослідження з об'єктом дослідження** – натуральні або змодельовані.

13) **За типом моделей, які досліджуються в експерименті**, – реальні або віртуальні (у думках та на ЕОМ).

14) **За числом факторів, що варіюються в експерименті: однофакторні та багатофакторні.**

Величини, що діють на об'єкт дослідження і здатні змінити його стан, називають **факторами**. Фактори бувають змінними, сталими і некерованими. **Змінним фактором** ($x_i, i=1, n$) називають контрольовану (вимірювану) змінну величину, що набуває на певний проміжок часу сталого значення. **Сталим** називають фактор, який не змінює свого значення протягом усього експерименту. Тобто, сталі фактори фіксуються на визначених рівнях, і вживаються заходи для того, щоб ці рівні практично залишались незмінними.

На об'єкт дослідження впливає низка факторів, які важко або взагалі неможливо врахувати. Такі фактори називають **некерованими**, або **збуреннями** ($w_i, i=1, m$). Дію цих факторів на об'єкт дослідження ще називають **рівнем шуму**. Наявність шуму під час експерименту знижує його точність, надійність та ускладнює аналіз отриманих результатів.

Зміна стану об'єкта дослідження, яка спричинена впливом змінних факторів, називається **вихідним параметром** ($y_i, i=1, k$). Таким чином,

експериментом можна назвати сукупність дослідів, скерованих на вивчення залежності вихідного параметра від факторів, що діють на об'єкт. Частина експерименту, виконану при певному значенні одного або декількох факторів, називають **дослідом**.

Однофакторним називають експеримент, під час якого визначається вплив на об'єкт дослідження тільки одного змінного фактора. Саме класична методика експериментальних досліджень базується на серії однофакторних експериментів.

Спочатку вивчається залежність y_2 від x_2 при сталих значеннях x_i , $i=1, n$ та ін. При цьому отримують ряд емпіричних залежностей:

$$y_1=f(x_1) \text{ при } x_2, x_3, \dots, x_n=\text{const};$$

$$y_2=f(x_2) \text{ при } x_1, x_3, \dots, x_n=\text{const}; y_k=f(x_n) \text{ при } x_1, x_2, \dots, x_{n-1}=\text{const}.$$

Кожний фактор (x_i , $i=2, n$) змінюють ступнево на декількох (бажано не менше п'яти) рівнях.

Багатофакторним називають експеримент, під час якого на об'єкт дослідження одночасно діють декілька змінних факторів. Метод багатофакторного експерименту дає змогу отримати математичну модель процесу у вигляді рівняння, за яким оцінюють вплив на об'єкт дослідження як окремих факторів, так і їх взаємодію. Планування та оброблення отриманих результатів здійснюється за допомогою формалізованих методів, які будуть розглянуті далі.

Існують два види завдань, які вирішує основний експеримент: *інтерполяційні* та *оптимізаційні*. Розв'язання оптимізаційних задач полягає у пошуку оптимальних умов перебігу процесу. Розв'язання інтерполяційних задач полягає у виявленні кількісних залежностей між різними факторами з метою математичного опису процесу.

До об'єкта дослідження ставляться такі вимоги:

- результати дослідів повинні відтворюватися; відхилення значень результатів дослідів, які здійснюються в однакових умовах через певний проміжок часу, не повинні перевищувати величини, визначеної методами математичної статистики;
- об'єкт дослідження має бути керованим, тобто повинна бути забезпечена можливість у кожному досліді обирати потрібні рівні факторів під час проведення активного експерименту.

Параметр оцінки – це результат досліду у відповідних умовах, або реакція об'єкта дослідження на дію факторів. До вихідних факторів висуваються такі вимоги:

- параметр оцінки повинен оцінюватись кількісно; множина значень, яких може набувати параметр оцінки, називається *областю визначення*;
- параметр оцінки повинен виражатись одним числом, без додаткових дій, вказівок;
- заданому набору факторів повинно відповідати тільки одне значення параметра; якщо під час повторення досліду в тих самих умовах

- величини параметра значно відрізняються (досліди не відтворюються), це означає, що не врахований якийсь важливий фактор або задане значення фактора змінюється у процесі дослідів;
- якщо параметром обрано декілька функціонально зв'язаних величин, перевагу доцільно надати тій, яку можна визначити з найбільшою точністю;
 - параметр має бути універсальним для всебічної оцінки процесу; властивості універсальності мають комплексні параметри; технічні параметри в багатьох випадках є недостатньо універсальними;
 - параметр бажано мати простим, який легко обчислюється і має фізичний зміст.

Після того, як обрано об'єкт дослідження і визначено вихідні параметри, необхідно розглянути всі існуючі фактори. Кожний фактор має свою сферу визначення. До факторів висуваються такі вимоги:

- для проведення активного експерименту фактори повинні бути керованими, тобто підпорядковуватись досліднику;
 - у методиці необхідно визначити операційність факторів, тобто зазначити, як встановлюються рівні їх величини, чим регулюються, вимірюються і фіксуються; потрібно чітко знати розмірність усіх факторів і вихідного параметра;
 - при визначенні величини фактора повинна забезпечуватися висока точність і відрізнятися на декілька порядків від інтервалу зміни його рівня.
- До сукупності **факторів, що діють на об'єкт дослідження**,

ставляться додаткові **вимоги**, а саме:

- фактори не повинні корелювати між собою, тобто при зміні одного фактора інший не повинен змінюватися; у випадку наявності кореляції в якості фактора можна приймати відношення двох факторів, логарифм їх відношення тощо;
- фактори повинні бути сумісними, тобто наявність одного з них не повинна виключати іншого.

Після обрання об'єкта дослідження, параметра і факторів, а також визначення виду експерименту переходять до складання плану його виконання.

5.3. Етапи підготовки наукового експерименту

Для проведення будь-якого виду експерименту необхідно попередньо спланувати та виконати таке:

- розробити гіпотезу, яка підлягає перевірці, та методику експериментальних робіт;
- визначити способи і прийоми впливу на об'єкт дослідження;
- забезпечити умови для виконання експериментальних робіт;
- розробити шляхи і прийоми фіксування ходу і результатів експерименту;
- підготувати засоби експерименту (прилади, установки, моделі тощо);

– забезпечити експеримент необхідним обслуговуванням.

Особливе значення має правильне **розроблення методики експерименту**.

Методика – це сукупність обдуманих і фізичних операцій, які розміщені у визначеній послідовності для досягнення поставленої мети дослідження.

Під час розроблення методики проведення експерименту необхідно передбачати:

- попереднє цілеспрямоване спостереження за об'єктом або явищем, що вивчається, з метою визначення вихідних даних (гіпотез, обрання змінних факторів);
- створення умов, у яких можливе експериментування (добір об'єктів для експериментальної дії, усунення впливу випадкових факторів);
- визначення області інтересу для змінних факторів та меж вимірювання;
- можливість систематичного спостереження за розвитком явища і точного опису фактів;
- проведення систематичної реєстрації замірів і оцінок фактів різними засобами і способами;
- створення складних ситуацій з метою підтвердження або спростування раніше отриманих даних;
- перехід від емпіричного вивчення з логічним узагальненням до аналізу та теоретичного оброблення отриманих фактичних даних.

Обравши методику експерименту, дослідник повинен переконатись у можливості її практичного застосування. Це необхідно зробити навіть у тому випадку, якщо методика раніше апробована в інших лабораторіях, оскільки вона може бути неприйнятною або складною в силу специфічних особливостей клімату, приміщення, лабораторного обладнання, персоналу тощо.

Перед кожним експериментом складається його **план (програма виконання)**, який включає такі етапи:

- мету, завдання та обґрунтування об'єму експерименту;
- вибір змінних факторів;
- визначення кількості дослідів та послідовності зміни факторів;
- вибір кроку зміни факторів, визначення інтервалів між майбутніми експериментальними точками;
- обґрунтування вибору засобів для вимірювання;
- опис проведення експерименту;
- обґрунтування вибору способів оброблення та аналізу результатів експерименту.

Необхідно також обґрунтувати вибір засобів вимірювання приладів та іншого обладнання. У зв'язку з цим експериментатор повинен бути добре обізнаний з існуючою вимірювальною апаратурою в Україні і за кордоном. Відповідальним моментом у підготовці засобів вимірювання є визначення *точності виміру і похибки*.

Методи вимірювань повинні базуватися на законах спеціальної

науки *метрології*, яка вивчає вимірювальні засоби і методи. Методи вимірювань можна поділити на *прямі і непрямі*. Під час прямих вимірювань шукану величину знаходять із досліду, а під час непрямих – за функціональними вимірами. Вимірювання бувають *абсолютні й відносні*. Абсолютні – це прямі заміри в одиницях вимірювальної величини; відносні заміри – це відношення вимірювальної величини до однойменної величини, яка приймається за вихідну одиницю. Необхідно виділити декілька основних способів вимірювань.

Спосіб безпосередньої оцінки – відповідає визначенню величини безпосередньо за відліковим пристроєм вимірювального приладу прямої дії.

Спосіб порівняння – передбачає необхідну вимірювальну величину порівнювати з величиною, що є мірою.

Спосіб протиставлення – здійснюється шляхом порівняння з мірою, тобто вимірювана величина і величина, що є мірою, одночасно діють на пристрій, за допомогою якого встановлюється співвідношення між цими величинами.

Диференційний спосіб – полягає в тому, що на вимірний пристрій діє різниця вимірної та відомої величини, яка є мірою.

Нульовий спосіб – полягає у доведенні результату ефективної дії величини на пристрій до нуля.

Спосіб заміщення – передбачає заміну вимірюваної величини відомою величиною з відновлюваною мірою.

Спосіб збігу полягає в тому, що різниця між заданою величиною і величиною, яка є мірою, визначається шляхом збігу відміток шкал або періодичних сигналів.

Вимірювальні прилади та пристрої. *Вимірювальним приладом* називають засіб вимірювання, призначений для отримання певної інформації про величину, що вивчається, у зручній для експериментатора формі. У таких

приладів вимірювальна величина переорюється на покази або сигнали. Вони складаються з двох головних вузлів: приймаючого сигнал і перетворювального його у покази. За способом відліку значення вимірювальної величини прилади поділяються на показникові та реєструвальні.

Вимірювальний пристрій (стенд) є системою, що складається з основних і допоміжних засобів вимірювання, які призначені для вимірювання однієї або кількох величин. Пристрій має різні засоби вимірювання і перетворювачі, призначені для одно- або багатоступеневого перетворення сигналу до того рівня, який дозволяє зафіксувати його вимірювальним механізмом.

5.4. Класична методика планування експериментальних досліджень

В умовах достатньо *повної інформації* метою експериментального дослідження може бути підтвердження теоретичних розрахунків, знаходження експериментальних коефіцієнтів для рівнянь або пошук оптимального рішення. Число дослідів визначається характером залежностей, які описують певний процес.

В умовах *неповної* або *суперечливої інформації*, коли відома тільки область експерименту, необхідно визначити характер залежностей, які пов'язують фактори з вихідним параметром. У цьому випадку значення факторів інтуїтивно розбивають на інтервали з отриманням певної кількості рівнів для кожного фактора, а потім, під час проведення експерименту, реалізують усі можливі сполучення рівнів факторів.

В умовах *відсутності апріорної інформації* про об'єкт дослідження невідомими є як область експерименту, так і фактори. У цьому випадку дослід планують за ходом експерименту. Отримавши і проаналізувавши результат першого досліду, дослідник планує наступний. Потім в експеримент залучаються нові змінні фактори, і впродовж усього експерименту дослідник отримує нову інформацію про об'єкт дослідження і процеси, які в ньому відбуваються.

План експерименту може бути складений у формі планово контрольної карти і методичної сітки або матриці.

5.5. Визначення основних статистичних характеристик вибіркової сукупності

Результати експериментальних досліджень у багатьох випадках можна розглядати як статистичну сукупність випадкових величин.

Сукупність, яка містить у собі всі можливі значення випадкової величини, називається *генеральною*. На практиці використовують сукупність, в якій міститься лише певна частина генеральної сукупності, що називається *вибірковою сукупністю*, або *вибіркою*.

Для первинної обробки експериментальних даних вибірки потрібні такі основні статистичні параметри: середнє арифметичне значення \bar{Y} ; вибіркова дисперсія S^2 ; середнє квадратичне відхилення S ; коефіцієнт варіації S_y ; середня помилка середнього значення $S_{\bar{y}}$; показник точності досліду P .

Якщо кількість спостережень N у вибірці понад 20, то для систематизації та упорядкування вибірки весь діапазон значень розбивають на інтервали.

Кількість інтервалів визначають за формулою:

$$K=1+3,2\lg N \quad (5.1)$$

Усі інтервали вибірки приймаються однакової величини, яку знаходять за формулою

$$\Delta y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{K}, \quad (5.2)$$

де y_{\max} і y_{\min} – найбільше і найменше значення у вибірці.

Кількість значень n_i , які потрапили в один із інтервалів, визначають частоту потрапляння в інтервал.

Упорядкований ряд середніх значень інтервалів y_i зі зростанням

називається *статистичним рядом*.

Графічне зображення статистичного ряду, координатами якого є частота інтервалу (вісь y) і довжина інтервалу (вісь x), називається *гістограмою*.

Середнє значення вибірки Y_{cp} визначається за формулою:

$$Y_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i y_i \quad (5.3)$$

Вибіркова дисперсія S^2 характеризує змінність значень у вибірці, тобто варіацію спостережень, і визначається за формулою:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^k n_i (Y_{cp} - y_i)^2 \quad (5.4)$$

Вираз $(N-1)$ у формулі (6.4) називається *числом ступенів свободи*, яке дорівнює кількості незалежних значень, що беруть участь у визначенні будь-якого параметра статистичної сукупності. У цьому випадку один ступінь свободи витрачається на визначення середнього значення, без якого не можна визначити дисперсію.

Середнє квадратичне відхилення від середнього значення дорівнює:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (5.5)$$

Коефіцієнт варіації ϑ є оцінкою змінності значень вибірки або відносною помилкою характеристики, і його величина визначається за формулою:

$$\vartheta = \frac{S}{Y_{cp}} \cdot 100\% \quad (5.6)$$

Середня помилка середнього значення S_y визначається за формулою

$$S = \pm \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (5.7)$$

Знаючи S_y , можна визначити *показник точності дослідження P*, який дорівнює:

$$P = \frac{S_y}{Y_{cp}} \cdot 100\% \quad (5.8)$$

Приклад. Визначити основні статистичні параметри та побудувати гістограму вибірки з 10 замірів твердості дереворізальних ножів в одиницях НРС: 61, 62, 65, 66, 65, 67, 65, 63, 63, 64. Аналіз отриманих замірів свідчить, що мінімальне значення твердості $y_{min}=61$, а максимальне значення $y_{max}=67$.

Кількість інтервалів становить:

$$K=1+3,2\lg N=1+3,2\lg 10=1+3,2\cdot 1,0=4,2.$$

Приймаємо кількість інтервалів $K=4$.

Величина інтервалу дорівнює: $y_{\Delta} = \frac{67-61}{4} = 1,5$

Складаємо таблицю для визначення основних параметрів (табл. 5.1).

Середнє значення вибірки $y = 64$ та вибіркочну дисперсію $S^2=2,625$

знайдемо за формулами (5.3) та (5.4). За даними табл. 5.1 будуємо гістограму, яка зображена на рис. 5.1.

Таблиця 5.1

Визначення середнього значення та дисперсії

Номер інтервалу	y-y	ni	yi cp	ni yi cp	-	$n_i(y_{ik}-\bar{y})^2$
1	61,0–62,5	2	61,75	123,50	5,0625	10,125
2	62,5–64,0	3	63,25	189,75	0,5625	1,6875
3	64,0–65,5	3	64,75	194,25	0,5625	1,6875
4	65,5–67,0	2	66,25	132,50	5,0625	10,125

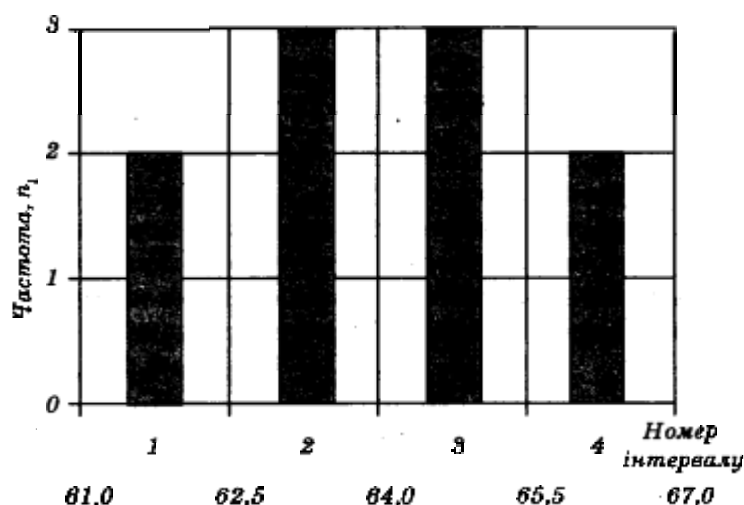


Рис. 5.1. Гістограма розподілу кількості спостережень

Основними параметрами генеральної сукупності є такі статистичні

характеристики:

- математичне сподівання середнього значення сукупності, m_y ;
- дисперсія сукупності, σ^2 .

Якщо відомі ймовірності P_i значень випадкових величин y_i , то параметри генеральної сукупності можна визначити за формулами:

$$m_y = \sum_{i=1}^N P_i y_i, \quad (5.9)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N P_i (y_i - m_y)^2 \quad (5.10)$$

Тому можна вважати, що середнє значення вибірки Y_{cp} та дисперсія S^2 є лише приблизними оцінками математичного очікування m_y та дисперсії σ^2 , тобто: $m_y \approx Y_{cp}$; $\sigma^2 \approx S^2$.

Зі збільшенням кількості дослідів N , коли відносна частота y_i прямує до ймовірності P_i , точність визначення параметрів генеральної сукупності за їх вибірковими значеннями зростає, тобто

$$m_y = \lim_{n \rightarrow \infty} Y_{cp} \quad (5.11)$$

$$\sigma^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} S^2 \quad (5.12)$$

Закон, що встановлює зв'язок між значеннями випадкової величини і відповідними ймовірностями, називається *законом розподілу випадкової величини*.

Для вибірок об'ємом $N > 120$ закон розподілу помилки, тобто різниці між генеральним та вибірковим середніми значеннями, відомий і називається *розподілом Стьюдента*. Використовуючи властивості цього розподілу, можна завжди визначити *ймовірність відхилення Δ* вибіркового середнього від генерального на певну величину, так званий *інтервал довіри для генеральної сукупності*

$$Y_{cp} - D \leq M_y \leq Y_{cp} + D \quad (5.13)$$

Ймовірність відхилення визначається за формулою:

$$\Delta = \pm \frac{t_{qf} \cdot S}{\sqrt{N}}, \quad (5.14)$$

де t_{qf} – критерій Стьюдента, значення якого вибирається за таблицями; q – рівень значущості; тобто ймовірність помилки, якою можна знехтувати в цьому досліді:

$$q = 1 - p, \quad (5.15)$$

де p – довірна ймовірність, значення якої в технічних розрахунках приймається в межах 0,95...0,99; f – число ступенів свободи, яке дорівнює:

$$f = N - 1 \quad (5.16)$$

Запровадження необхідної кількості спостережень вибірки полягає у визначенні достатнього числа дослідів, яке забезпечить репрезентативність цієї вибірки. Необхідна кількість спостережень N , або *об'єм вибірки*, який

забезпечить точність Δ визначення m_y за відомим Y_{cp} із допустимим відхиленням q у межах 0,05...0,01, визначається за формулою:

$$N \geq \frac{t_{qf}^2 \cdot S^2}{\Delta^2} \quad (5.17)$$

Однією з потужних сучасних комп'ютерних програм для розв'язання статистичних задач є електронні таблиці EXCEL, які дозволяють виконувати програмовані обчислення над даними, що представлені у вигляді таблиці, та отримувати результати обчислень як у числовому вигляді, так і вигляді графіків або діаграм.

5.6. Апроксимація результатів експериментальних досліджень

Поняття апроксимації. Процес одержання на основі результатів експериментальних досліджень математичної залежності $y=\varphi(x)$, яка з достатньою точністю відтворює досліджувану закономірність $y = f(x)$, називається **апроксимацією**. Функціональні залежності, одержані способом апроксимації експериментальних даних, називаються *емпіричними*.

Емпірична залежність $y=\varphi(x)$ по суті є *математичною моделлю* процесу дослідження, результати якої дійсні тільки в межах зміни аргументу, тобто в інтервалі варіації фактора x_1, x_2, \dots, x_k .

Необхідність в емпіричних залежностях виникає тоді, коли аналітичні залежності вважаються складними і вимагають громіздких обчислень для практичного використання або ж тоді, коли аналітичні залежності взагалі відсутні. Можна вважати, що емпіричні залежності – це наближене виявлення аналітичних, а процес апроксимації – спосіб заміни складного або неможливого процесу одержання точних аналітичних виразів.

Виконання апроксимації результатів експериментальних досліджень складається з двох основних і послідовних етапів, а саме:

1. *етап* – вибір загального вигляду типової функціональної залежності (апроксиманти);
2. *етап* – розрахунок числових значень параметрів (коефіцієнтів) апроксиманти.

Вибір загального вигляду рівняння апроксимації. Для того, щоб з'ясувати, до якого класу функцій належить шукана апроксиманта $y=f(x)$, необхідно звернутись до графічного зображення результатів експерименту. Графік будується в декартовій системі координат x і y . Значення фактора відкладаються на осі абсцис, значення параметра оцінки – на осі ординат, а власне результати позначаються точками (рис. 5.2).

З'єднавши точки прямою 1, одержують графік результатів експерименту. Якщо відмітити серединні точки кожного з відрізків, то через них можна провести пряму 2 (або криву), яка буде приблизним уявленням графіка шуканої апроксиманти.

Далі порівнюють отриманий графік з графіками типових функцій і обирають загальний вигляд рівняння апроксиманти, яке буде найбільш подібно описувати досліджувану залежність.

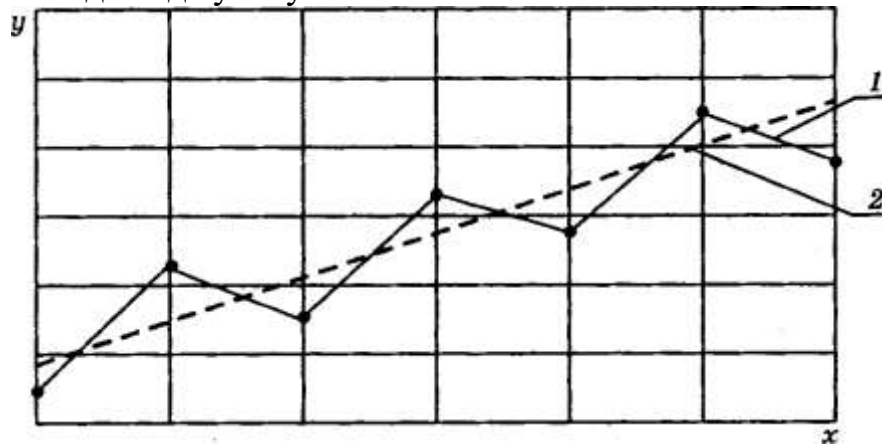


Рис. 5.2. Графічне зображення результатів експерименту:
1 – експериментальна лінія; 2 – уявна апроксиманти

Методи визначення коефіцієнтів апроксиманти. Після вибору загального вигляду апроксимуючої функції переходять до розрахунку числових значень її коефіцієнтів. Залежно від типу обраної функції та вимог щодо точності результатів розрахунку застосовують такі методи:

- графічний метод;
- метод середніх;
- метод найменших квадратів.

Графічний метод застосовується для лінійних функцій та функцій, що зводяться до лінійних методом вирівнювання. Для цього вводять нові змінні: $x' = f_1(x, y)$; $y' = f_2(x, y)$, за допомогою яких рівняння набуває вигляду лінійної залежності: $y' = b_0 + b_1 x'$.

Вирівнюванню підлягають такі залежності, як гіперболічна, показникова, степенева, логарифмічна та ін.

Метод середніх завдяки своїй простоті дозволяє у більшості випадків замінити громіздкий метод найменших квадратів і одержати достатньо задовільні за точністю результати. Цей метод полягає у тому, що після того як визначено тип функції й виконано, в разі необхідності, вирівнювання, одержують лінійну залежність типу: $Y = b_0 + b_1 X$. На основі одержання залежності, підставляючи значення X та Y з кожного дослідження, складають умовні рівняння, число яких дорівнює кількості дослідів N .

Усі рівняння з невідомими b_0 та b_1 розбивають на дві рівні групи і кожену з них почлено сумують. У результаті одержують рівняння, з яких складають систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i^{\frac{N}{2}} Y_i = \sum_i^{\frac{N}{2}} b_0 + \sum_i^{\frac{N}{2}} b_1 X_i \\ \sum_i^{\frac{N}{2}} Y_i = \sum_i^{\frac{N}{2}} b_0 + \sum_i^{\frac{N}{2}} b_1 X_i \end{array} \right\}, \quad (5.18)$$

де $i=1,2,3,\dots, N$ – кількість дослідів.

Із системи цих рівнянь знаходять значення невідомих коефіцієнтів b_0 та b_1 і записують остаточне рівняння апроксиманти.

Сутність *методу найменших квадратів* полягає у тому, що для двох функціонально зв'язаних величин x та y відомо N пар відповідних значень $(x_1; y_1), (x_2; y_2) \dots (x_n; y_n)$. Вимагається в наперед заданій формулі $y=f(x, b_0, b_1 \dots b_m)$ визначити кількість $(m+1)$ параметрів $b_0, b_1 \dots b_m$ ($m < n$) так, щоб ця формула дозволила з найбільш точною відповідністю поновлювати значення вихідних параметрів y для заданих значень x .

З курсу теорії ймовірностей відомо, що найкращими є ті значення параметрів функції, котрі перетворюють на мінімум суму:

$$\sum_{k=1}^N [f(x_n, b_0, b_1, \dots, b_m) - y_k]^2 = \min, \quad (5.19)$$

тобто суму квадратів відхилень значень y , які визначені за формулою, від експериментальних. Саме тому цей метод отримав назву методу найменших квадратів.

Використовуючи необхідні умови мінімуму функції багатьох змінних, вираховуємо часткові похідні функції та прирівнюємо їх до нуля. Це дає систему $(m+1)$ рівнянь з $(m+1)$ невідомим, тобто

$$\sum_{k=1}^N [f(x_n, b_0, b_1, \dots, b_m) - y_k] \frac{df(x_n, b_0, b_1, \dots, b_m)}{db_i} = 0 \quad (5.20)$$

5.7. Регресивний аналіз результатів експериментальних досліджень

Під *регресивним аналізом* розуміють дослідження закономірності зв'язку між двома змінними, коли одному значенню X відповідає сукупність значень Y , тобто зв'язок між ними не повністю визначений.

Функцію $Y=f(X)$ називають регресивною, коли значення Y утворюють статистичний ряд розподілу з характеристиками безперервної випадкової

величини. Тому регресивний зв'язок між величинами X та Y можна визначити лише тоді, коли забезпечується можливість виконання статистичних замірів.

Статистичні залежності описують математичними моделями, тобто *рівняннями регресії*, які відтворюють зв'язок між значеннями фактора X і змінною характеристикою досліджуваного процесу Y .

Рівняння регресії, по можливості, повинні бути простими й адекватними.

Існують *однофакторні* й *багатофакторні* регресивні залежності.

Регресивний аналіз виконується у такій послідовності:

- перевірка наявності кореляційного зв'язку;
- апроксимація експериментальних даних;

– статистичний аналіз рівнянь регресії.

Перевірка наявності кореляційного зв'язку. У багатьох випадках метою експериментальних досліджень є, насамперед, виявлення наявності залежності між двома змінними величинами. Якщо змінність однієї випадкової величини впливає на розподіл іншої, то вважають, що між такими випадковими величинами існує *статистичний зв'язок*. Для оцінки статистичного зв'язку між двома змінними величинами використовують *коефіцієнт кореляції*. Визначення коефіцієнта кореляції виконується на основі результатів експериментальних спостережень.

Нехай проведено N спостережень, і в кожному випадку відомо значення двох параметрів x та y , тобто одержано дві вибірки:

$$x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n.$$

За кожною з них знаходять середнє значення та середнє квадратичне відхилення S_x та S_y . Тоді коефіцієнт кореляції визначається за формулою:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)S_x S_y} \quad (5.21)$$

Величина коефіцієнта кореляції завжди перебуває у межах $-1 \leq R \leq 1$. Коефіцієнт характеризує тільки лінійну залежність між випадковими величинами. При додатному значенні коефіцієнта можна вважати, що при зростанні однієї величини інша в середньому теж зростає. При від'ємному значенні R зростання одної величини зумовлює в середньому зменшення значення іншої. При $R = +1$ або $R = -1$ між величинами x і y існує кореляційний зв'язок. Значення $R = 0$ свідчить про відсутність лінійної залежності між x і y . Щільність зв'язку вважають задовільною при $R \geq 0,5$, доброю – при $R = 0,8 \dots 0,85$.

Для перевірки відповідності вибіркового значення коефіцієнта кореляції R значенню кореляції (ρ) між генеральними сукупностями x і y використовують t – розподіл Ст'юдента. Спочатку знаходять розрахункове значення $t_{розр}$ за формулою:

$$t_{розр} = |R| \sqrt{\frac{N-2}{1-R^2}} \quad (5.22)$$

і порівнюють його з табличним.

Якщо $t_{розр} > t_{табл}$ при кількості ступенів свободи $f = N - 2$ і рівні значимості $q = 5\%$, то кореляційний зв'язок існує, а також підтверджується для генеральних сукупностей.

Статистичний аналіз рівняння регресії. Статистичний аналіз одержаного рівняння регресії полягає у розв'язанні двох основних завдань: оцінки значимості коефіцієнтів рівняння; перевірки адекватності рівняння регресії експериментальним даним.

Необхідною передумовою статистичного аналізу є *нормальність розподілу вихідної величини і однорідність дисперсій дослідів*.

Здійснивши перевірку забезпечення передумов, можна починати виконання статистичного аналізу рівняння регресії. Для розв'язання задач

аналізу необхідно мати кількісну оцінку похибки експерименту в цілому. Такою оцінкою є дисперсія відновлення S_y^2 , яка визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N}, \quad (5.23)$$

де N – кількість дослідів; S_j^2 – дисперсія j -го дослідів.

Кількість ступенів свободи f_y дисперсії експерименту дорівнює сумі ступенів свободи дисперсій всіх дослідів, тобто $f_y = N(n-1)$.

Оцінка точності визначення коефіцієнтів рівняння регресії та їх значущості. Після того, як рівняння одержано і знайдено дисперсію відновленості, необхідно оцінити точність визначених коефіцієнтів регресії. Оскільки їх визначено з результатів експерименту, а результати є випадковими величинами, то значення коефіцієнтів регресії b_i теж будуть випадковими. Тому показником точності коефіцієнта буде його дисперсія S_b^2 , яка визначається за формулою:

$$S_b^2 = \frac{S_y^2}{n \cdot N} \quad (5.24)$$

Після цього оцінюють значимість коефіцієнтів регресії за допомогою t -критерію Стьюдента. Для кожного коефіцієнта визначають розрахункове значення t -критерію за формулою:

$$t_{розр} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}, \quad (5.25)$$

де S_{b_i} – середнє квадратичне відхилення значення коефіцієнтів:

$$S_{b_i} = \sqrt{S_{b_i}^2} \quad (5.26)$$

За таблицями знаходять значення t -критерію для рівня значимості $q=0,05$ та числа ступенів свободи $f_y = N(n-1)$.

Якщо виконується умова $t_{розр} > t_{табл}$, то коефіцієнти регресії значимі, а якщо ні, то такий коефіцієнт можна виключити з регресії, тобто прийняти за нуль.

Перевірка адекватності одержаного рівняння регресії необхідна для того, щоб відповісти на запитання, чи буде рівняння відтворювати значення критерію оцінки з тією ж точністю, що і результати експерименту.

Для цього використовують значення F -критерію Фішера. Спочатку визначають розрахункове значення F -критерію за формулами:

$$F_{розр} = S_{ад}^2 / S_y^2, \text{ якщо } S_{ад}^2 > S_y^2; \quad (5.27)$$

$$F_{розр} = S_y^2 / S_{ад}^2, \text{ якщо } S_y^2 > S_{ад}^2, \quad (5.28)$$

де $S_{ад}^2$ дисперсія адекватності, яка визначається за співвідношенням:

$$S_{ад}^2 = \frac{n \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - \bar{y}_i)^2}{f_{ад}}, \quad (5.29)$$

де \bar{y}_j – значення вихідної величини в j - досліді, визначене за рівнянням регресії; $f_{ад}$ – кількість ступенів свободи;

$$f = N - P,$$

де P – число коефіцієнтів рівняння регресії.

За таблицями визначають значення F – критерію для рівня значущості $q = 0,05$ та кількості ступенів свободи f_y і $f_{ад}$.

Рівняння вважається адекватним, якщо виконується умова: $F_{розр} < F_{табл}$.

6. ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА АНАЛІЗ ЙОГО РЕЗУЛЬТАТІВ

6.1. Сутність математичного планування експерименту

Планування експерименту – це вибір числа та умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для розв'язання поставленого завдання з заданою точністю. Якщо на об'єкт дослідження одночасно діє декілька змінних факторів, це відповідає умовам багатофакторного експерименту. У разі наявності останнього можливі два методи планування експерименту:

- класичний метод, за яким досліджується вплив на об'єкт кожного фактора окремо, змінюючи його значення та фіксуючи решту факторів на сталому рівні;
- математичний метод, що дозволяє досліджувати вплив на об'єкт одночасно всіх факторів, змінюючи їх рівні за відповідним, наперед розробленим, планом.

У практиці планування експериментальних досліджень використовуються обидва методи, але другий має декілька переваг, а саме:

- значно зменшується необхідна кількість дослідів за наявності великої кількості змінних факторів;
- математичний опис процесу здійснюється у вигляді єдиного рівняння, яке включає всі змінні фактори, тоді як при першому методі кількість рівнянь, що описують процес, дорівнює кількості змінних факторів.

Основним завданням математичного планування експерименту є розроблення багатофакторних планів, котрі забезпечували б можливість отримати достатньо точну модель процесу у вигляді одного рівняння з мінімальною кількістю дослідів.

Під час планування експерименту можуть вирішуватися такі *задачі*:

- *інтерполяційна*, метою якої є побудова поверхні відгуку в факторному просторі для з'ясування характеру впливу кожного фактора на функцію відгуку;
- *оптимізаційна*, метою якої є визначення найкращого поєднання значень факторів, що забезпечує оптимальне значення функції відгуку.

Рівняння, яке встановлює зв'язок між значенням функції відгуку

(вихідної величини) та значеннями змінних факторів, називають **математичною моделлю** процесу дослідження. Якщо на об'єкт дослідження діють змінні фактори, що позначаються X_1, X_2, \dots, X_i які визначають його стан у якості вихідного параметра Y , то математичною моделлю процесу називають функцію у вигляді $Y=f(X_1, X_2, \dots, X_i)$.

Обрати модель – означає знайти вигляд функції, записати її рівняння, яке називають **рівнянням регресії**. Наприклад, рівняння регресії для двох змінних факторів може бути записано у вигляді: лінійного рівняння:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2; \quad (6.1)$$

– неповного квадратного рівняння:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2; \quad (6.2)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти рівнянь регресії.

Для отримання лінійного або неповного квадратного рівняння застосовують плани першого порядку, а для отримання моделі у вигляді квадратного рівняння – план другого порядку.

Для вибору напряму та умов експерименту, перш за все, необхідно з'ясувати *кількість змінних факторів* та визначити *інтервали їх варіювання*. Ця процедура є досить важливим етапом наукового дослідження. Вона вирішується на основі всебічного вивчення явища, що досліджується, літературних джерел, проведення теоретичного аналізу, практичного досвіду й у кожному випадку носить творчий та індивідуальний характер.

Після прийняття рішення про вихідний параметр та змінні фактори, вплив яких передбачається досліджувати, а також про область зміни значень кожного виконують кодування факторів.

Заміна натуральних значень факторів у відповідних одиницях виміру безрозмірними кодovими значеннями спрощує план експерименту та процес статистичного оброблення експериментальних даних. Кожному фактору присвоюють, у тій самій послідовності, що й натуральним, кодове значення X_1, X_2 тощо. Найбільше кодове значення кожного фактора позначають (+1) та називають його **верхнім рівнем**, а найменше значення позначають (-1) і називають **нижнім рівнем**. Середнє значення позначають (0): це **основний рівень**.

Для факторів із безперервною областю визначення зв'язок між кодovим і натуральним значенням визначають за формулою:

$$X_i \geq \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta_{xi}}, \quad (6.4)$$

де X_i – кодове значення фактора; x_i – натуральне значення фактора; x_{0i} – натуральне значення середнього рівня; Δ_{xi} – інтервал зміни фактора, що визначається як половина різниці між натуральними значеннями верхнього та нижнього рівнів фактора.

Під час складання плану експерименту та оброблення експериментальних даних усі фактори, незалежно від їх фізичної суті та числових значень, будуть мати однакові кодovі значення (+1, 0, -1).

Розшифрування, тобто перехід до натуральних значень факторів, виконується після закінчення статистичного оброблення даних.

У планах першого порядку використовують тільки верхній та нижній рівні факторів [1; 10; 11]. У планах другого порядку, крім зазначених, послуговуються й іншими рівнями, методика визначення та кодування яких частково розглянута нижче.

6.2. Повні факторні плани

Повним факторним планом (ПФП) називають план, в якому реалізуються всі можливі сполучення двох рівнів факторів (верхнього та нижнього). Кількість дослідів у цьому випадку визначають за формулою $N=2^k$, де k кількість змінних факторів.

Якщо досліджується вплив двох змінних факторів, то $N=2^2=4$. Для побудови матриці ПФП потрібно перейти до безрозмірних нормалізованих (кодових) позначень змінних факторів (згідно з формулою 7.4). Запровадження нормалізованих значень факторів створює ряд переваг. Незалежно від фізичної суті та діапазону зміни фактора його нижній рівень у нормалізованих позначеннях дорівнює (-1) , верхній рівень $(+1)$, а основний рівень (0) . Тому матрицю ПФП у нормалізованих позначеннях можна побудувати перебором рівнів (-1) і $(+1)$, нехтуючи конкретними діапазонами зміни кожного з факторів. Приклад ПФП типу 2^2 та 2^3 наведено в табл. 6.1. Таку таблицю називають **планом-матрицею в кодових значеннях**.

Таблиця 6.1

Розгорнутий план-матриця ПФП 2^2 та 2^3

Номер дослідів	Фактори			Взаємодія факторів				Функція y
	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	y_1
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	y_2
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	y_3
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	y_4
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	y_5
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	y_6
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	y_7
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_8

Наведемо геометричне пояснення ПФП. Для прикладу, ПФП з двома факторами розглянемо як факторну площину, тобто координатну площину, на осі абсцис якої відкладається значення фактора X_1 , а на осі ординат – значення фактора X_2 (рис. 6.1, а).

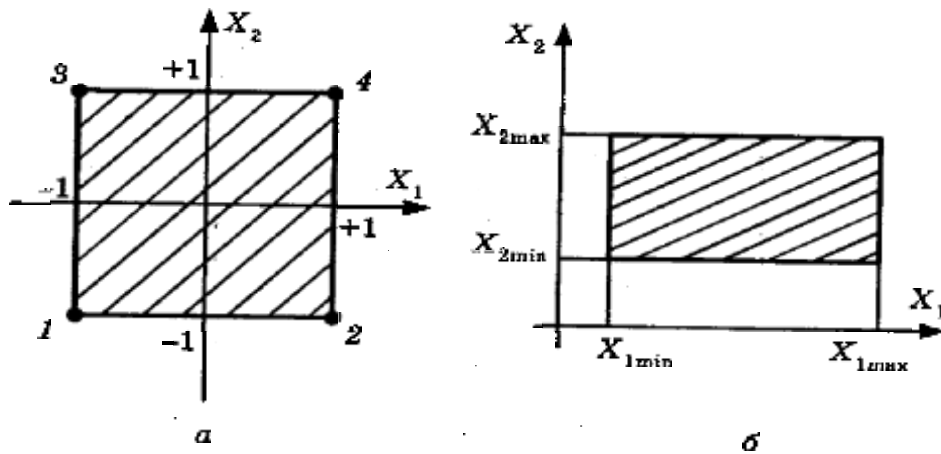


Рис. 6.1. Факторна площина плану з двома факторами: а – у кодових значеннях; б – у натуральних значеннях

Побудуємо на цій площині точки, координати яких відповідають нормалізованим значенням факторів у дослідах 1...4 матриці ПФП 2^2 . Точки цього плану утворюють вершини квадрату, центр якого збігається з початком координат. Площа квадрата – це область зміни кодових факторів. На факторній площині (рис. 7.1, б) зображені точки цього ж плану в натуральних значеннях факторів. У цих координатах область зміни факторів є площа прямокутника.

Для геометричного зображення ПФП 2^3 потрібний вже факторний простір з трьома факторними осями координат – x_1, x_2, x_3 (рис. 6.2). У нормалізованих координатах номерам дослідів ПФП 2^3 відповідають вершини куба, а в натуральних значеннях факторів – вершини паралелепіпеда.

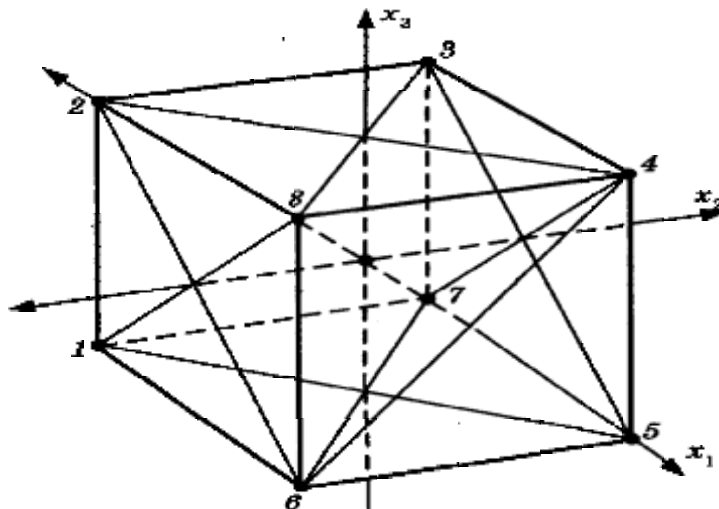


Рис. 6.2. Геометричне зображення ПФП 2^3

Існує загальне правило *побудови матриць ПФП*, суть якого полягає в такому:

- рівні першого фактора чергуються в кожному досліді;
- частота зміни рівнів кожного наступного фактора (X_j) удвічі менша,

ніж попереднього (X_i).

Основними характерними властивостями план-матриць у кодових значеннях, які визначають точність результатів та сфери застосування відповідних планів для побудови математичних моделей, є: симетричність, нормованість, ортогональність, рототабельність, уніформність, композиційність. **Симетричними** відносно центра експерименту називають плани, для яких сума чисел будь-якого стовпця дорівнює нулю, тобто:

$$\sum_{i=1}^N X_{ji} = 0 \quad (\text{для будь-якого } j). \quad (6.5)$$

Нормованими називають плани, для яких сума квадратів елементів кожного стовпця дорівнює числу дослідів, тобто:

$$\sum_{i=1}^N X_{ji}^2 = N \quad (6.6)$$

Ортогональними називають плани, для яких сума почленних добутків будь-яких двох стовпців матриці дорівнює нулю:

$$\sum_{i=1}^N X_{ji} X_{ui} = 0 \quad (\text{для } j \neq u = 1 \dots k) \quad (6.7)$$

Властивість ортогональності дозволяє значно спростити процес визначення коефіцієнтів рівняння регресії, яке має загальний вигляд:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j X_j + \sum_{j=u}^k b_{ju} X_j X_u + \sum_{j=1}^k b_{jj} X_j^2 + \dots \quad (6.8)$$

де X_j, X_u – лінійні значення факторів; b_0, b_j, b_{ju}, b_{jj} – коефіцієнти членів рівняння; $X_j X_u$ – взаємодія двох різних факторів плану.

Рототабельність плану забезпечує однакову точність поверхні відгуку, незалежно від напрямків руху від центра експерименту до будь-яких рівновіддалених точок.

Уніформність планів забезпечує сталість дисперсії в деякій області навколо центра експерименту.

Композиційні плани дозволяють проводити експеримент частинами, тобто, в разі необхідності, переходити до планування більш високого порядку, зберігаючи одночасно результати попередніх дослідів.

6.3. Методика обробки результатів експерименту за повними факторними планами

Методика обробки результатів експерименту включає в себе такі основні етапи:

- визначення відновлюваності результатів рівняння регресії;

- розрахунок і оцінка значущості коефіцієнтів рівняння регресії;
- визначення рівня відповідності одержаної математичної моделі експериментальним даним, тобто перевірка адекватності рівняння регресії.

Визначення відновлюваності результатів дослідів. З метою забезпечення достовірності одержаних результатів, під час реалізації плану експерименту в кожному досліді (за однакових умов) необхідно провести декілька спостережень. Кількість спостережень визначається залежно від надійності дослідів. Під дією некерованих і невідомих факторів числове значення вихідного параметра при повторенні дослідів відрізняється одне від одного. Тому для кожного дослідів визначають середнє значення \bar{y}_i і дисперсію S_i^2 .

Відновлюваність дослідів перевіряється за критерієм Кохрена (G_p):

$$G_p = \frac{S_{i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \leq G(q, f_y, f_n) \quad (6.9)$$

де $S_{i \max}^2$ – найбільша за числовим значенням дисперсія одного з дослідів, яка визначається (як і всі інші дисперсії дослідів) за формулою:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n - 1} \quad (6.10)$$

де n – кількість повторень (дублювань) кожного дослідів; y_{ij} – значення вихідної величини в j -му дублюванні i -го дослідів ($j=1 \dots n, i=1 \dots N$); \bar{y}_i – середнє значення вихідної величини в i -му дослідів; $G(q, f_y, f_n)$ – табличне значення критерію Кохрена, яке обирається за статистичними залежно від: q – рівня достовірності (у більшості випадків $q=0,05$); f_y – кількості незалежних значень дисперсії ($f_y=N$); $f_n = n-1$ – числа свободи кожного значення, де n – кількість дублювань корисного дослідів.

Умова $G_p \leq G_{\text{табл}}$ означає, що коли розрахункове значення критерію Кохрена буде менше або дорівнюватиме табличному, то різниця між значеннями спостережень перебуватиме в межах необхідної точності дослідів.

Невиконання цієї умови означає, що на об'єкт дослідження впливають невраховані фактори, або значення фактора, що прийнято за сталє, в дійсності змінюється. У цьому випадку необхідно ще раз детально проаналізувати умови проведення експерименту.

Після такої оцінки визначається **дисперсія відновлюваності дослідів** (помилка дослідів) за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad (6.11)$$

Розрахунок і оцінка коефіцієнтів рівняння регресії. Спочатку визначається вільний член рівняння за формулою:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i \quad (6.12)$$

де \bar{y}_i – середнє арифметичне значення параметра оцінки кожного дослідів.

Коефіцієнти інших членів рівняння регресії (6.8) визначають за

такими формулами:

– коефіцієнти біля кожного фактора:

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ji} \bar{y}_i \text{ для } (j=1,2 \dots N) \quad \text{для } (j=1,2 \dots N), \quad (6.13)$$

де X_{ji} – кодове значення j -фактора в i -му досліді ПФП;

– коефіцієнти біля взаємодій факторів:

$$b_{ju} = \frac{1}{N} \sum X_{ji} X_{ui} \bar{y}, \text{ для } (j \neq u, j, u=1,2 \dots n) \quad , \text{ для } (j \neq u, j, u=1,2 \dots n) \quad (6.14)$$

Числові значення розрахованих коефіцієнтів рівняння регресії показують величину впливу того чи іншого фактора або взаємодії факторів на вихідний параметр.

Серед визначених коефіцієнтів можуть бути такі, що за своєю величиною на мають значного впливу на вихідний параметр. Тому для спрощення рівняння регресії ними можна знехтувати, попередньо з'ясувавши величину їх значущості.

Оцінка значущості коефіцієнтів виконується за допомогою критерію Стьюдента. Коефіцієнт вважають значущим, якщо виконується нерівність:

$$|b| \geq t_{\eta, f} \cdot \Delta b \quad , \quad (6.15)$$

де Δb – похибка коефіцієнта, яка визначається за формулою:

$$\Delta b = \sqrt{\frac{S_y^2}{n \cdot N}}; \quad (6.16)$$

$t_{q, f}$ – табличне значення критерію Стьюдента, яке обирається за таблицями для відомих: q – рівень достовірності ($q=0,05$);

f – кількість ступенів свободи дисперсії відновлення, яке дорівнює $f=N(n-1)$.

$t_{q, f}$ – табличне значення критерію Стьюдента, яке обирається за таблицями для відомих: q – рівень достовірності ($q=0,05$);

f – кількість ступенів свободи дисперсії відновлення, яке дорівнює $f=N(n-1)$.

Якщо за абсолютною величиною значення коефіцієнта менше за його похибку (6.15), то коефіцієнт вважають незначним, і відповідний член виключається з рівняння регресії.

Перевірка рівняння регресії на адекватність означає оцінку достатньої точності результатів, одержаних значеннями дослідів. Така перевірка здійснюється за допомогою критерію Фішера. Якщо рівняння адекватне, то виконується нерівність:

$$F_{розр} < F_{табл} (0,05, f_1, f_2) \quad , \quad (6.17)$$

де $F_{розр}$ – розрахункове значення критерію Фішера, яке визначається за формулами:

$$F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}, \text{ якщо } S_{ад}^2 > S_y^2; \quad (6.18)$$
$$F_{розр} = \frac{S_y^2}{S_{ад}^2}, \text{ якщо } S_y^2 > S_{ад}^2;$$

де $S_{ад}^2$ – дисперсія адекватності, яка в свою чергу визначається за формулою:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N n (\bar{y}_j - \bar{y}_i)^2, \quad (6.19)$$

де $f_{ад}$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності $f_{ад} = N - P$, де P – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії; y_i – значення параметра оцінки для кожного досліду, розраховане за одержаним рівнянням регресії в кодових значеннях; $F_{табл}$ – табличне значення критерію Фішера, що обирається залежно від $f_1 = f_{ад} = N - P$ – числа ступенів свободи дисперсії адекватності та $f_2 = f_y = N(n-1)$ – числа ступенів свободи дисперсії відновлення.

Якщо умова адекватності виконується, то можна вважати, що результати рівняння регресії з достатньою точністю узгоджені з результатами дослідів, а якщо умова адекватності не виконується, то це лінійне рівняння недостатньо точно описує процес, що досліджується, і тоді приймають одне з таких рішень:

- включають у модель нові взаємодії факторів;
- зменшують діапазон зміни факторів;
- переходять до планів другого порядку.

Включення в модель усіх взаємодій факторів дає можливість одержувати більш точну характеристику їх впливу на об'єкт дослідження. Однак для оцінки адекватності такої моделі не вистачає ступенів свободи у рівнянні (6.19). Так, двофакторна модель із взаємодією має чотири коефіцієнти для чотирьох дослідів, трифакторна модель – вісім коефіцієнтів для восьми дослідів. Тому доводиться нехтувати деякими взаємодіями, особливо більш високих порядків, або проводити додаткові досліді.

Спосіб зменшення діапазону зміни факторів можна застосовувати лише в технічно обґрунтованих випадках. Тому частіше обирають рішення, яке передбачає перехід до плану другого порядку.

6.4. Аналіз одержаних результатів

Маючи адекватне рівняння, можна прогнозувати всі можливі значення параметра оцінки процесу для будь-яких значень факторів, що знаходяться між верхнім і нижнім рівнями. Аналіз одержаного рівняння регресії полягає у визначенні *відносної значущості* кожного змінного фактора та їх взаємодій і поясненні *фізичної суті* цих явищ.

Краще за все виконувати аналіз, користуючись *рівнянням регресії в кодових значеннях факторів*, яке має такі загальні особливості:

- абсолютна величина лінійного коефіцієнта рівняння регресії свідчить про ступінь (величину) впливу відповідного фактора на вихідний параметр оцінки досліджуваного процесу; більший вплив має той фактор, числове значення коефіцієнта якого більше;
- знаки лінійних коефіцієнтів рівняння регресії несуть дуже важливу

інформацію, а саме: якщо коефіцієнт додатний, то вихідна величина зростає зі збільшенням відповідного фактора та зменшується за його зменшення; для коефіцієнтів з від'ємним значенням ця залежність має зворотний характер;

- рівняння регресії дозволяє розрахувати значення вихідного параметра для будь-якої точки в області зміни факторів, тому на його основі можна будувати графічні залежності від одного з факторів при фіксованих значеннях інших або від двох, трьох факторів одразу, графіки яких відображаються в об'ємних координатах.

Результат багатофакторного експерименту графічно можна уявити у вигляді поверхні відгуку (рис. 6.3). Якщо всі фактори виявляють лінійний вплив на вихідну величину і процес описується рівнянням першого порядку, то поверхня відгуку буде мати плоску форму (рис. 6.3, а).

Якщо процес описується рівнянням другого порядку, то поверхня набуває криволінійної форми (рис. 6.3, б) і тим більш складної, чим більше факторів виявляють нелінійний характер впливу на величину параметра оцінки досліду.

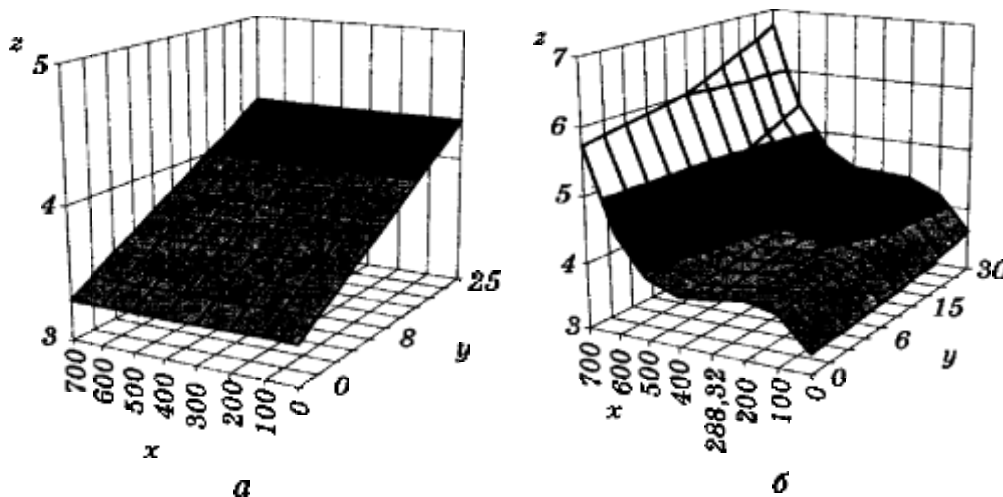


Рис. 6.3. Приклад графічного відображення багатофакторного експерименту: а – лінійна залежність; б – нелінійна залежність

Одержана математична модель може бути основою для оптимізації процесу, що досліджується, або раціонального керування ним.

Для одержання математичної моделі у натуральних значеннях факторів необхідно замінити кодові значення факторів на натуральні, використавши залежність (6.4). Але рівняння в натуральних значеннях втрачає важливу інформативність щодо аналізу результатів досліджень, яка характерна для нормалізованих моделей. Тому аналіз результатів досліджень виконують тільки за рівнянням регресії у кодових значеннях.

Для попереднього аналізу рівнянь, тобто визначення впливу кожного з факторів, застосовують метод канонічного перетворення їх на більш прості, або *метод розрахунку похідних*.

Модель другого порядку в нормалізованих позначеннях факторів

містить у собі, як і модель першого порядку, інформацію про міру впливу змінних факторів на вихідний параметр. Але присутність у рівнянні регресії взаємодій та квадратичних членів не дозволяє визначати зв'язок змінних факторів з вихідним параметром шляхом простого порівняння за величиною лінійних коефіцієнтів регресії.

Для квадратичної моделі вплив фактора на вихідний параметр непостійний. Він змінюється в різних точках нелінійного факторного простору. Міра такого впливу може бути визначена за значенням числової похідної в деякій точці $X_i = X_i'$.

Для моделі другого порядку з двома змінними факторами вона дорівнює:

$$\frac{dy}{dX_{i(x)_i - \bar{x}_i}} = b_1 + 2b_{u1}\bar{X}_1 + b_{12}X_2 \quad (6.20)$$

Значення цього виразу залежить як від рівня фактора X_1 , так і від рівня фактора X_2 . Це характерно не тільки для рівняння другого порядку, але і для неповного квадратичного рівняння. У загальному випадку міру впливу i -го фактора на вихідний параметр Y визначають як максимальне за модулем значення величини:

$$\begin{aligned} \partial_i &= b_i \\ &= \frac{dy}{dX_i} + 2b_{u1}X_i + \sum_{j=1}^N b_{ij}X_j \end{aligned} \quad (6.21)$$

яке дорівнює

$$|\partial_{i\max}| = |b_i| + 2|b_{u1}| + \sum_{j=1}^N |b_{ij}| \quad (6.22)$$

Наочно характер впливу одного з факторів на вихідний параметр оцінюється за допомогою графічної залежності, побудованої за рівнянням регресії, при фіксованих значеннях усіх інших факторів.

6.5. Оптимізація результатів багатofакторного експерименту

Пошук оптимуму може відбуватись двома способами. Перший полягає в тому, що спочатку отримують рівняння регресії, а потім досліджують його на екстремум. Другим способом пошук екстремуму здійснюють під час виконання експерименту, не шукаючи загального зв'язку кожного з факторів із вихідним параметром. В останньому випадку застосовують *експериментальні методи оптимізації*.

Сучасна теорія і практика виконання оптимізації досить розвинута, особливо в зв'язку з можливостями застосування ЕОМ. Для вирішення різних технічних завдань застосовуються як класичні, так і новітні методи, а саме: *дихотомій, золотого перерізу, градієнтів, прямого пошуку* та ін.

Пошук оптимального рішення, тобто знаходження таких значень факторів у межах діапазону їх зміни, при яких вихідний параметр має мінімум або максимум, виконується на основі *рівняння регресії*. Такі завдання часто

виникають. Як правило, шукають максимум міцності, надійності, продуктивності й мінімум затрат сировини, матеріалів та енергетичних ресурсів, собівартості тощо за умов забезпечення необхідної якості виробів. Розглянемо методику виконання оптимізації на основі одержаного рівняння регресії другого порядку.

Оптимізація рівняння регресії дисоціативно-кроковим методом.

Дисоціативно-кроковий метод є простим способом пошуку оптимальних рішень, що не вимагає застосування ЕОМ і побудований на властивостях рівнянь регресії. Він може бути придатний для випадків, коли діапазон зміни факторів знаходиться в межах (+1...-1).

Розглянемо основні властивості полінома другого порядку.

1. Графіком функції

$$y = b_0 + b_i X_i + b_{ij} X_i^2 \quad (6.23)$$

є парабола.

2. Для $b_{ij} > 0$ рівняння (7.23) описує вгнуту криву (гілки параболи спрямовані догори); для $b_{ij} < 0$ – опуклу (гілки параболи спрямовані донизу).
3. Абсциса вершини параболи (7.23) дорівнює:

$$X_{i\text{в}} = -\frac{b_i}{2b_{ij}} \quad (6.24)$$

4. За умови

$$|b_i| > 2|b_{ij}| \quad (6.25)$$

вершина параболи знаходиться поза діапазоном зміни фактора X_i і, таким чином, рівняння (7.23) описує монотонну функцію. Якщо при цьому $b_i > 0$, то ця функція монотонно зростаюча, якщо $b_i < 0$ – монотонно спадна.

5. За умови

$$|b_i| > 2|b_{ij}| \quad (6.26)$$

функція (7.23) має екстремум усередині діапазону зміни фактора X_i (максимум, коли $b_{ij} < 0$, або мінімум, якщо $b_{ij} > 0$).

Згідно з дисоціативно-кроковим методом, отримане на основі багатофакторного експерименту рівняння регресії в нормалізованому вигляді поділяється на квазіоднофакторні рівняння, кожне з яких включає лінійні й квадратичні члени тільки одного фактора та його взаємодії з іншими:

$$y_i = b_i X_i + b_{ij} X_i^2 + X_i \sum_{j=1}^K b_{ij} X_j \quad (6.27)$$

7. ТЕХНОЛОГІЯ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ. ЗВІТНІСТЬ З НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

7.1. Загальна характеристика процесів наукового дослідження. Технологія наукової діяльності

Дослідницька діяльність — це такий вид діяльності людини, що складно передбачити або прогнозувати. Існують певні правила, котрих доцільно дотримуватись у процесі досліджень, зокрема:

- поступове входження в роботу;
- ритмічність і рівномірність праці;
- планування роботи.

Наукова діяльність має творчий характер, тому характеризується імпульсивністю, імпровізацією, потребує відповідного настрою. Успіх забезпечує насамперед систематична, ритмічна, ретельно спланована щоденна робота. Перед тим, як приступити до неї, необхідно її обміркувати, відокремити найважливіші, термінові справи на поточний день. Слід також дотримуватись планів, які складаються на день, тиждень, місяць тощо. Їх доцільно розробляти за участю наукового керівника.

У *плануванні роботи* необхідно враховувати, що найсприятливіший час для виконання складних і творчих завдань – від 10 до 12 години, після цього настає деякий спад активності, яка поновлюється з 14 до 17 години, а потім починає різко спадати. Слід пам'ятати, що недоцільно працювати кілька годин, а потім робити тривалий відпочинок; краще чергувати роботу протягом 45 хвилин з перервою 15 хвилин, працювати за комп'ютером не більше 4-х годин на день. Робота упродовж тижня також повинна мати певний ритм. Понеділок є днем «входження» у роботу, тому в цей день не варто починати важливі і складні справи, а робити це слід у вівторок і середу. До п'ятниці накопичується втома, тому в суботу та неділю краще

відпочивати.

Для раціональної організації праці досліднику треба мати робочий блокнот, в якому фіксувати ті справи, котрі він планує зробити протягом дня. Можна використовувати спеціальні папки-гармошки, сторінки яких присвячені одному дню або тижню і в які вкладаються документи, записки нагадування, доручення наукового керівника тощо.

Кожний дослідник повинен, враховуючи свої індивідуальні особливості, розробити власні прийоми «входження» в роботу, встановити її ритм і тривалість.

Важливе значення для забезпечення високого рівня працездатності має належна **організація робочого місця**. Воно повинно правильно освітлюватися (згори і зліва), утримуватись у робочому порядку. Комп'ютер слід розташовувати таким чином, щоби ним було зручно користуватися. На робочому місці доцільно тримати лише документи і матеріали, необхідні в певний момент, усі інші – розташовувати в заведеному порядку в ящиках, шафах, картотеках. Дотримання звичного встановленого порядку на робочому місці полегшує працю, робить її раціональнішою, економить час на пошуки необхідних матеріалів, запобігає їх «зникненню».

У сучасних умовах одним з основних технічних засобів, якими користується дослідник, є персональний комп'ютер (ПК). Для документування переважно використовується Microsoft Word – потужний текстовий редактор, що призначений для виконання процесів створення й обробки текстів: від набору і верстки до перевірки орфографії, вставки у текст графіки, роздрукування. Він має апарат, який дає змогу швидко та якісно створювати і зберігати документи. Бажано, щоб ПК був підключений до всесвітньої мережі Internet, що створює додаткові можливості для пошуку інформації за темою дослідження.

У процесі наукового пошуку дослідник здійснює ділове спілкування, котре може мати інформаційний або дискусійний характер, тому він повинен бути компетентним, тактовним, володіти прийомами безпосередніх та опосередкованих контактів, прагнути оперативної й ефективно вирішити чи обговорити питання. Попередня підготовка передбачає визначення мети, теми, терміну, основних запитань, даних

тощо. Важливе значення має також **техніка спілкування**, тобто ті правила і прийоми, які використовуються для ділових контактів, зокрема:

- визначеність, тобто чітке обмеження предмета спілкування (обговорення), його мети, формулювання питань, можливих варіантів вирішення;
- обґрунтованість, тобто максимальна аргументованість своєї точки зору, визначення системи доказів, логічність викладення власної позиції;
- послідовність у відстоюванні власної точки зору, поглядів, думок, несуперечність тверджень, доказів, готовність до зміни своєї позиції лише за наявності вагомих аргументів опонента.

При веденні діалогу слід уважно вислуховувати співрозмовника, ставитися до нього неупереджено, делікатно, з повагою. Основні моменти

такого спілкування доцільно занотовувати, щоби пізніше проаналізувати точку зору співрозмовника, його аргументи.

У процесі наукового пошуку в дослідника накопичуються різні за змістом і формою матеріали (рукописи, ксерокопії, конспекти, вирізки, картотеки, диски тощо), які по суті є персональним архівом. Крім цього, дослідник має книги, періодичні видання, інструкції та інші публікації, що створюють особисту бібліотеку.

Ведення власного архіву для дослідника є дуже важливим. Матеріали необхідно систематизувати за тематикою, формою, характером і зберігати в окремих папках, диски – в окремих коробках. Бажано вести картотеку матеріалів, в якій чітко вказувати їхній зміст і місце знаходження.

Особиста бібліотека також повинна впорядковуватись і систематизуватись за видами видань (довідники, енциклопедії, словники, монографії, підручники); коли ж літератури багато – за її тематикою. Щодо періодичних видань, то доцільно окремо зберігати останні номери і видання минулих років. Потрібні для роботи статті чи інші матеріали варто копіювати і зберігати окремо у вигляді підшивок за окремими напрямками дослідження або темами.

Наукова робота вимагає значних витрат енергії, вона виснажлива і може супроводжуватись перевтомою. Тому головне *завдання «гігієни розумової праці»* – підтримувати високу працездатність, що досягається шляхом періодичної зміни занять.

Засобом відтворення працездатності може бути відпочинок, пов'язаний із захопленням спортом, літературою, музикою, мистецтвом, шахами, прогулянками на природі.

Інколи у процесі роботи наступає депресія. Це дуже небезпечний стан при якому робота втрачає для виконавця будь-який сенс. Йому здається, що з дослідження нічого не вийде, він втрачає віру в її успіх. Якщо не проходить депресія, це може призвести до повного припинення наукової роботи в цілому, краху життєвих планів. Причинами депресії як правило є перевтома, коли робота не дає бажаного результату, не приносить задоволення впродовж тривалого часу.

Перерва у роботі дає результат лише у тому випадку, коли депресія є результатом перевтоми. Якщо причина депресії полягає у відсутності успіху в роботі, слід звузити поле дослідження, звернутися до невеликого конкретного питання та успішно його вирішити. Дуже важливо при цьому отримати схвалення від керівника роботи, колег, знайомих спеціалістів.

Працездатність – важливий фактор успіху. Налаштуватись на високу працездатність і творчу активність – важливе завдання кожного вченого, для чого необхідно виховувати навички систематичної роботи.

Технологія наукового дослідження — це спосіб досягнення його мети за умов фіксованого поділу функцій між технічними засобами і природними інформаційними органами людини, що відповідають можливостям перших та останніх, а також встановленій логіці дослідження.

Технологія наукового дослідження визначає його логіку відповідно до реальних можливостей застосування технічних засобів і наукового персоналу.

Логіка наукового дослідження являє собою сукупність таких

складових, як *пізнавальні завдання, структура інформації*, необхідної для одержання рішення, засоби збирання й підготовки цієї інформації, процедури постановки завдань, пошуки їх вирішення та отримання результатів. Логіка постає як одна з передумов розробки технології відповідного дослідження. Якщо за встановленої логіки повністю використовуються зазначені можливості, то технологія є адекватною.

Розробка технології наукових досліджень є різновидом міждисциплінарних досліджень, і при її проведенні використовується апарат деяких наук, предметом вивчення яких є пізнавальні процеси. Як вихідні дані у розробці технології наукового дослідження виступає опис логіки дослідження. Першою операцією тут є формалізація.

Формалізовані знання й процедури в науковому дослідженні функціонують разом з інтуїтивними (неформалізованими) знаннями та процедурами. Тому необхідно встановити й описати зв'язки останніх з результатами формалізації.

Технологія наукового дослідження передбачає здійснення таких технологічних циклів:

- формулювання теми наукового дослідження та розробка робочої гіпотези;
- визначення мети, завдань, об'єкта й предмета дослідження;
- виконання теоретичних та прикладних наукових досліджень;
- оформлення звіту про виконану науково-дослідну роботу.

7.2. Структура наукового дослідження

Весь процес наукового дослідження, у т.ч. й підготовку магістерської роботи як самостійної науково-дослідницької кваліфікаційної роботи, необхідно поділити на етапи:

1. Обґрунтування наукової проблеми, формулювання теми дослідження.
2. Постановка мети і конкретних завдань дослідження.
3. Визначення об'єкта і предмета дослідження.
4. Накопичення необхідної наукової інформації, пошук літературних та інших джерел відповідно до теми і завдань дослідження, їх вивчення й аналіз.
5. Відпрацювання гіпотез і теоретичних передумов дослідження.
6. Вибір системи методів проведення дослідження.
7. Обробка, аналіз, опис процесу та результатів дослідження, що проводилося згідно з розробленою програмою і методикою.
8. Обговорення результатів дослідження.
9. Формулювання висновків та оцінка одержаних результатів, їх публічний захист.

Обґрунтування наукової проблеми, вибір та формулювання теми дослідження – це початковий етап будь-якого дослідження. Стосовно магістерської роботи важливими є її актуальність і практична спрямованість. Оскільки магістерська робота є науково-дослідницькою кваліфікаційною працею, те, як автор вміє обрати тему і наскільки правильно він її розуміє й оцінює з

точки зору своєчасності та соціальної значущості, характеризує його професійну підготовленість. При виборі теми основними критеріями мають бути її актуальність, новизна і перспективність. Формулюючи актуальність теми, слід вказати, до якої сфери діяльності або галузі знань вона належить, чим обумовлено її вибір, а також для чого і де в практиці необхідне запропоноване дослідження.

Потрібно кількома реченнями висвітлити головне: суть проблеми, з якої випливає актуальність теми. Проблема в науці – це суперечлива ситуація, котра вимагає свого вирішення. Правильна постановка та ясне формулювання нових проблем іноді має не менш важливе значення, ніж їх вирішення. По суті вибір проблеми якщо не повністю, то здебільшого визначає як стратегію дослідження, так і напрямок наукового пошуку. Не випадково вважається, що сформулювати наукову проблему – означає показати вміння відокремити головне від другорядного, виявити те, що вже відомо науці з предмета дослідження.

7.3. Оформлення звітів про результати наукової роботи

Кожна наукова робота повинна закінчуватись звітом. Розроблені єдині правила оформлення звітів у сфері науки і техніки, які викладені у Державному стандарті України ДСТУ 3008–95 під назвою «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення». Цей документ відповідає Міжнародному стандарту ISO 5966:1982 “Documentation–Presentation of scientific and technical reports», який використовують у своїй роботі фахівці таких країн, як США, Японія, Франція, ФРН, Канада та ін. Окрім того, стандарт враховує історичні традиції та норми української мови, зокрема, щодо подання прізвищ та імен авторів тощо.

Стандарт регламентує загальні вимоги до побудови, викладу та оформлення звітів.

Вимоги до порядку викладу матеріалу звіту. Звіт умовно поділяють на окремі частини:

- вступну;
- основну;
- додатки;
- матеріал у кінці звіту.

Вступна частина складається з титульного аркуша, списку авторів, реферату, змісту, переліку умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів, передмови.

Основна частина складається зі вступу, безпосередньо звіту, висновків, рекомендацій, переліку посилань.

Додатки розміщуються після основної частини звіту.

Матеріал у кінці звіту може містити список організацій, які розповсюджують звіт, та вихідних відомостей.

Вимоги до основних структурних елементів вступної частини:

Обкладинка надає користувачеві перше уявлення про звіт і тому має бути чіткою, зрозумілою та інформативною. Зовнішній бік обкладинки

містить ідентифікатори звіту, міжнародний стандартний книжковий номер (ISBN), відомості про виконавця роботи – юридичну особу (організацію) або фізичну особу, повну назву документа, прізвища авторів звіту, рік складання звіту, спеціальні записи та обмеження розповсюдження.

Титульний аркуш є першою сторінкою звіту і править за основне джерело бібліографічної інформації, необхідної для оброблення та пошуку документа. Відомості на титульному аркуші в основному збігаються з відомостями на обкладинці.

Реферат призначений для попереднього ознайомлення зі звітом. Він має бути стислим, інформативним і давати можливість прийняти рішення про доцільність читання всього звіту. Реферат містить відомості про обсяг звіту, кількість частин звіту, ілюстрацій, таблиць, додатків, кількість джерел, згідно з переліком ключових слів. Текст реферату повинен відбивати подану у звіті інформацію у такій послідовності:

- об'єкт дослідження;
- мета роботи;
- методи дослідження та апаратура;
- результати та їх новизна;
- основні конструктивні, технологічні й техніко-експлуатаційні характеристики і показники;
- ступінь впровадження;
- взаємозв'язок з іншими роботами;
- рекомендації щодо використання результатів роботи;
- галузь застосування;
- економічна ефективність;
- значущість роботи та висновки;
- прогностичні припущення про розвиток об'єкта дослідження.

Обсяг реферату не повинен перевищувати 500 слів, і бажано, щоб він уміщався на одній сторінці формату А4. Перелік ключових слів містить від 5–ти до 15–ти слів або словосполучень, надрукованих великими літерами в називному відмінку в рядок через коми.

Передмова включає супровідні нотатки, що пояснюють певні аспекти роботи, історичні умови для її написання тощо.

Вимоги до основних структурних елементів основної частини

У вступі коротко викладають:

- оцінку сучасного стану проблеми, практично виконані завдання, прогалини знань, що існують у певній галузі, провідні організації, фірми та провідних вчених цієї галузі;
- світові тенденції розв'язання поставлених завдань;
- актуальність певної роботи та підставу для її виконання;
- мету роботи та галузь застосування;
- взаємозв'язок з іншими роботами.

Безпосередньо звіт – це виклад відомостей про предмет дослідження, котрі є необхідними й доступними для розкриття суті певної роботи (опис: 81 теорії, методів роботи, характеристик і властивостей досліджуваного об'єкта, принципів дії та устрій об'єкта; метрологічне забезпечення тощо) та її

результати. Особливу увагу приділяють новизні в роботі, питанням сумісності, надійності, безпеки, екології, ресурсу ощадності. Суть звіту викладають, поділяючи матеріал на розділи, підрозділи, пункти та підпункти. Відповідальність за достовірність відомостей, які містить звіт, несе виконавець. *Висновки* вміщують оцінку одержаних результатів роботи або її окремого етапу (негативних теж) з урахуванням світових тенденцій розв'язання поставлених завдань; можливі галузі використання результатів роботи; народногосподарську, наукову, соціальну значущість роботи.

Рекомендації визначають подальші роботи, які вважають необхідними, приділяючи основну увагу пропозиціям щодо ефективного використання результатів дослідження. Рекомендації повинні мати конкретний характер і логічне обґрунтування.

Перелік посилань у вигляді бібліографічних описів джерел (технічної літератури, патентів, звітів тощо) наводиться в порядку, за яким вони вперше згадуються в тексті.

Загальні вимоги до оформлення тексту звіту, ілюстрацій і таблиць

Звіт складається у вигляді тексту, ілюстрацій, таблиць і оформлюється на аркушах паперу формату А4 комп'ютерним набором на одному боці аркуша білого паперу.

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) доцільно розміщувати у звіті безпосередньо після тексту, де про неї згадується вперше, або на наступній сторінці. Формули та рівняння записують після тексту, в якому про них йдеться, посередині сторінки. Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, наводяться безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені в формулі.

Література

1. Адаменко М. І. Основи наукових досліджень / М. І. Адаменко, М. В. Бейлін. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 188 с.
2. Бобилев В. П., Іванов І. І., Проїдак Ю. С. Методологія та організація наукових досліджень: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ : Системні технології, 2008. – 264 с.
3. Гуменна О. А. Основи наукових досліджень. – Суми: СумДПУ ім. А. С. Макаренка, 2007. – 99 с.
4. Клименюк О. В. Методологія та методи наукового дослідження: Навчальний посібник. – К. : Міленіум, 2005. – 186 с.
5. Ковальчук В. В. Основи наукових досліджень: Навч. посіб. / В. В. Ковальчук, Л. М. Моїсеєв. – 2-ге вид., переробл. і допов. – К. : ВД «Професіонал», 2004. – 216 с.