

Квєтний Роман Наумович, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету



Іванчук Ярослав Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету



Барабан Марія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету



Сторчак Володимир Григорович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету

МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ПІДРУЧНИК



РОМАН КВЄТНИЙ
ЯРОСЛАВ ІВАНЧУК
МАРІЯ БАРАБАН
ВОЛОДИМИР СТОРЧАК

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Підручник

Вінниця
ВНТУ
2026

УДК 001.89(075.8)
М54

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 5 від 27.11.2025 р.)

Автори:

Р. Н. Квєтний, Я. В. Іванчук,
М. В. Барабан, В. Г. Сторчак

Рецензенти:

В. М. Дубовой, доктор технічних наук, професор
В. В. Романюк, доктор технічних наук, професор
С. Д. Штовба, доктор технічних наук, професор

Методологія наукових досліджень : підручник / Р. Н. Квєтний, Я. В. Іванчук, М. В. Барабан, В. Г. Сторчак. Електрон. текст. дані. Вінниця: ВНТУ, 2026. PDF, 192 с.
М54
ISBN 978-617-8163-83-9 (PDF)

У підручнику розглянуто філософські поняття та означеннями методології науки, подано основні відомості щодо організації наукової діяльності в Україні і світі, а також матеріали, що допомагають науковцям ефективно проводити й подавати результати власних досліджень із використанням сучасних методів моделювання та інтелектуальних технологій. Підручник призначений для здобувачів вищої освіти першого, другого та третього рівнів підготовки спеціалістів у галузях знань F «Інформаційні технології» (усі спеціальності) та G «Інженерія, виробництво та будівництво» (насамперед спеціальності G5, G6, G7, що пов'язані з автоматизацією, інформаційними технологіями та електронікою). Крім того, підручник буде корисним для широкого кола дослідників у відповідних галузях науки і техніки.

УДК 001.89(075.8)

ISBN 978-966-641-986-9 (друк.)
ISBN 978-617-8163-83-9 (PDF)

© ВНТУ, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП 6

РОЗДІЛ 1 НАУКА В СУЧАСНОМУ СВІТІ 8
1.1 Історія науки 8
1.2 Наука – система знань 9
1.3 Наука, як дослідницька діяльність 12
1.4 Понятійно-категоріальний апарат науки 13
Контрольні запитання та завдання 18

РОЗДІЛ 2 СУЧАСНА ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ І В СВІТІ 19
2.1 Законодавство України про науку 19
2.2 Організація наукової діяльності в Україні 22
2.3 Наукові ступені та звання у світовій практиці 34
2.4 Відкрита наука 36
Контрольні запитання та завдання 38

РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ 39
3.1 Наукове дослідження в історичному, теоретичному та соціальному контекстах 39
3.2 Наукове дослідження та суміжні поняття 39
3.3 Значення та функції наукових досліджень у сучасному суспільстві 40
3.4 Наукове дослідження як систематизована форма пізнання 41
3.5 Визначення проблеми дослідження 42
3.6 Класифікація наукових досліджень 42
Контрольні запитання та завдання 45

РОЗДІЛ 4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ І ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДОЛОГІЇ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ 46
4.1 Методологія як загальна система, і галузь теоретичних знань та уявлень 46
4.2 Методи наукового дослідження 48
4.2.1 Поняття методики 50
4.2.2 Інформаційні технології 51
4.2.3 Метод, спосіб, методика та технологія: спільність і відмінність 52
4.2.4 Системний та аксіологічний підходи 52
4.3 Наукове пізнання та його ознаки 53
4.3.1 Поняття наукового факту 56
4.3.2 Специфіка теоретичного знання 58
4.3.3 Поняття наукової теорії 59

4.4 Методи наукових досліджень 60
4.4.1 Об'єктивність і суб'єктивність у виборі методів дослідження 63
4.4.2 Спостереження як метод наукового дослідження 64
4.4.3 Метод порівняння 65
4.4.4 Метод вимірювання 66
4.4.5 Експеримент як метод наукового дослідження 67
4.4.6 Аксіоматичний метод 67
4.4.7 Гіпотетико-дедуктивний метод 68
4.4.8 Абстрагування і конкретизація 68
4.4.9 Історичний та логічний метод 69
4.5 Наукова інформація: сутність та властивості 69
Контрольні запитання та завдання 72

РОЗДІЛ 5 ПОДАННЯ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ 74
5.1 Організаційні та методичні вимоги до звіту з наукової роботи 74
5.2 Наукові публікації 76
5.3 Система інтелектуальної власності в Україні 85
5.3.1 Правова база інтелектуальної власності 85
5.3.2 Основні поняття та означення 86
5.3.3 Теоретико-правові засади авторського права і ліцензійних відносин 92
5.3.4 Порядок оформлення патентних прав на об'єкти інтелектуальної власності 97
Контрольні запитання та завдання 100

РОЗДІЛ 6 ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ 102
6.1 Інфраструктура відтворюваних обчислень і відкритої науки 102
6.2 Технологічна інфраструктура сучасних наукових досліджень 106
6.3 Методологія супроводження наукового дослідження 114
6.4 Методика використання текстового інтелектуального агента GPT 126
6.4.1 Практичні рекомендації 126
6.4.2 Порівняльна характеристика актуальних версій інтелектуальних моделей GPT 128
6.4.3 Порівняльна характеристика провайдерів моделей штучного інтелекту 129
6.5 Стандартизація роботи з інструментами штучного інтелекту 130
Контрольні запитання та завдання 131

РОЗДІЛ 7 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБРОБКА ДАНИХ 133
7.1 Математичне моделювання та обчислювальні методи 133
7.1.1 Математична модель 136
7.1.2 Обчислювальні методи 146
7.1.2.1 Чисельний метод розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь 147
7.1.2.2 Чисельні методи розв'язання задач нелінійної математики 149
7.1.2.3 Чисельні методи розв'язання задач диференціального числення 151
7.1.2.4 Чисельні методи розв'язання рівнянь математичної фізики 153
7.1.2.5 Чисельні методи інтегрування та диференціювання 158
7.2 Експериментальна ідентифікація об'єктів моделювання 162
7.2.1 Пасивна ідентифікація функціональної моделі 163
7.2.2 Активна ідентифікація функціональної моделі 165
7.3 Статистична ідентифікація об'єктів моделювання 166
7.3.1 Статистичне оцінювання законів розподілу випадкових величин 167
7.3.2 Кореляційний аналіз 169
7.3.3 Факторний аналіз 171
7.3.4 Регресійний аналіз 175
7.4 Планування експерименту 179
7.4.1 Повний факторний експеримент 180
7.4.2 Дробовий факторний експеримент 185
Контрольні запитання та завдання 189
ЛІТЕРАТУРА 191

ВСТУП

Метою цього підручника є ознайомлення широкого кола молодих дослідників із філософськими засадами та поняттями методології наукової діяльності, а також надання допомоги в ефективній організації науково-дослідної роботи із застосуванням сучасних методів математичного моделювання та інтелектуальних технологій.

Запровадження в Україні обов'язкового спеціального вступного іспиту для претендентів на вступ до аспірантури з метою отримання ступеня доктора філософії з різних спеціальностей виявило потребу у навчальних посібниках, що висвітлюють коло питань, передбачених програмою такого іспиту. Це визначило змістову спрямованість початкових розділів підручника. Широке застосування магістрами та докторами філософії математичних методів, як у власних дослідженнях, так і під час виконання проєктів у межах інноваційного та стартап-руху вказує на доцільність внесення до підручника розділів, присвячених основним методам і засобам математичного моделювання та комп'ютерних обчислень.

Активне впровадження останнім часом методів та систем штучного інтелекту зумовлює необхідність їх глибокого аналізу, допомоги у виборі та ефективному етичному застосуванні таких систем і визначенні їх ролі у формуванні та супроводженні наукових досліджень. За правильного використання це може сприяти підвищенню якості виконання досліджень та покращенню отриманих результатів. Головне – не втратити особистість дослідника, яка має чітко прослідковуватися в унікальності результатів роботи. Цим питанням присвячено окремий розділ підручника.

Загальна концепція підручника належить Р. Н. Квєтному, який протягом багатьох років викладає відповідний курс на магістерському рівні підготовки фахівців у галузях інформаційних технологій та автоматизації. Метою підручника є узагальнення власного педагогічного досвіду разом із досвідом колег, що викладають аналогічні навчальні дисципліни для здобувачів інших спеціальностей. Головним завданням курсу та підручника є систематизація й формалізація підходів до ефективного планування, успішного виконання, подання та захисту результатів досліджень для магістрантів, аспірантів і взагалі широкого кола дослідників, які залучені до сучасних інноваційних процесів.

Структура підручника побудована таким чином, щоб поєднати теоретичні основи методології наукових досліджень із практичними аспектами їх реалізації. У перших розділах подано філософські та методологічні засади наукової діяльності, а у наступних – розглянуто інструменти планування, організації та аналізу досліджень із використанням сучасних інформаційних технологій. Окрему увагу приділено методам

математичного моделювання, оптимізації та інтелектуальної підтримки наукових рішень.

Підручник спрямований не лише на засвоєння теоретичних знань, а й на формування навичок критичного мислення, аналітичного підходу та відповідального ставлення до використання інтелектуальних технологій у науці. Його зміст покликаний сприяти розвитку культури наукового пошуку, підвищенню якості підготовки дослідників і формуванню здатності до міждисциплінарної інтеграції знань.

Підручник призначений для здобувачів першого, другого та третього рівнів вищої освіти за спеціальностями галузей знань F «Інформаційні технології» та G «Інженерія, виробництво та будівництво» (передусім спеціальностей G5, G6, G7, що пов’язані з автоматизацією, інформаційними технологіями та електронікою). Підручник також буде корисним для широкого кола дослідників, які працюють у відповідних галузях науки й техніки.

РОЗДІЛ 1 НАУКА В СУЧАСНОМУ СВІТІ

1.1 Історія науки

Історія науки – це систематичне дослідження процесу розвитку людського пізнання, відкриття та розвитку наукових теорій у часі. Вона охоплює епохи від давніх цивілізацій до сучасності, від міфологічних уявлень до сучасних наукових досягнень. Важливою частиною історії науки є вивчення ролі видатних учених, їхніх внесків, а також впливу історичних подій і соціальних умов на науковий прогрес.

Тут наведено періоди та основні риси розвитку науки. Щодо біографій видатних вчених та історій їхніх винаходів і досягнень, то цей матеріал легко знаходиться самостійно.

Отже, розвиток науки можна розділити на низку етапів:

1. **Давні часи.** Зародження знань у галузях, пов'язаних із землеробством, будівництвом, мореплавством. Виникнення перших теоретичних систем у геометрії, механіці та астрономії (наприклад, роботи Евкліда, Архімеда, Птолемея).

2. **Античність**. Подальший розвиток математики, фізики, медицини. Формування філософських шкіл, які впливали на розвиток наукового мислення.

3. **Середньовіччя**. Збереження та передача знань, розвиток алхімії та астрології, які згодом стали основою для хімії та астрономії. У східних країнах, зокрема в арабському світі, відбувався значний прогрес у математиці, медицині та астрономії.

4. **Відродження.** Відродження інтересу до античної науки та філософії, розвиток експериментальної науки. Поява перших наукових інституцій.

5. **Новий час.** Наукова революція, яка характеризується переходом від описової до експериментальної науки. Видатні відкриття у фізиці (І. Ньютон), астрономії (Н. Коперник, Г. Галілей), біології (Г. Мендель).

6. **XIX століття.** Швидкий розвиток техніки, промислова революція. Формування нових наукових дисциплін, таких як хімія, біологія, геологія. Розвиток теорії еволюції (Ч. Дарвін).

7. **XX століття.** Стрімкий розвиток науки та техніки, поява нових галузей, таких як фізика (квантова фізика, теорія відносності), електроніка, інформатика. Космічна ера.

8. **Сучасність.** Розвиток нанотехнологій, біотехнологій, штучного інтелекту, подальша інтеграція науки та техніки. Сучасна наука розвивається в умовах глобалізації знань та міждисциплінарних зв'язків. Важливою тенденцією є інтеграція природничих, технічних і соціально-гуманітарних дисциплін, що формує нову парадигму – науку про складні системи.

1.2 Наука – система знань

Наука – це систематичне здобуття знань про природу та суспільство за допомогою емпіричних досліджень і логічного аналізу. Філософія глибше осмислює суть і межі пізнання, формулює основні категорії і принципи, допомагає опанувати суть наукових ідей. Релігія дає відповіді на духовні питання й вірування, часто базуючись на одкровеннях, пророчих відкриттях і догмах. Мистецтво – спосіб вираження людської уяви та емоцій, що впливає на світогляд і стимулює креативність. Взаємодія цих сфер породжує різні концепції світосприйняття та культуру.

Наука – це певна система, що містить в собі різні форми і види знань, зокрема теорії (як цілісні моделі світу), закони (фіксовані та підтверджені повторювані явища), гіпотези (пропозиції, які ще потрібно перевірити), поняття (змістовні одиниці), а також наукові методи – експеримент, спостереження, аналіз, моделювання. Вона формулює закономірності та принципи, що дозволяють пояснювати та передбачати явища, будувати системи знань. У науковому системному розумінні усвідомлено, що усі тіла і предмети в світі взаємодіють, а всі процеси та явища взаємопов'язані. Тому наука як система визначається як у формі суспільної свідомості, відображаючи сенс людського буття (зокрема знання про природу, суспільство і людину), так і у формі суспільної практики, куди входять методології, теорії, інформація та наукові структури.

Наука – це не просто сума знань про навколишній світ, а точно сформульовані положення про явища та їх зв'язки, закони природи та суспільства, виражені за допомогою конкретних наукових понять і тверджень. Поняття і твердження є науковими, якщо вони отримані за допомогою наукових методів (як емпіричних, так і теоретичних) і підтверджені в процесі практичної перевірки. Отже, наука – це сфера дослідницької діяльності, спрямована на отримання нових знань про природу, суспільство і людину.

У XXI столітті наука все більше набуває інформаційно-цифрового характеру, коли великі обсяги даних, обчислювальні моделі та штучний інтелект стають основними інструментами пізнання. Це створює нові можливості для відкриттів, але водночас висуває етичні та філософські виклики.

Мета науки – пізнання законів розвитку природи і суспільства, їхнього впливу на предмети та явища, властивостей та відношень, що виконується за допомогою логічного та абстрактного мислення.

Процес наукового пізнання передбачає накопичення фактів, що підлягають систематизації та узагальненню за допомогою понять, категорій та критеріїв. Поняття є вищою формою прояву думки і відображає предмети та явища світу в їхніх конкретних та загальних ознаках. На їхньому базисі створюється система наукового знання.

Наукові знання – це система взаємозалежних понять, що відбивають закономірний процес розвитку природи і суспільства. Розвиток системи наукових знань, її удосконалення, систематизація та апробація проводяться

за допомогою наукового дослідження. В ефективності проведення наукових досліджень значну роль відіграють інтуїція, індивідуальність пошуковця і досвід.

Пошук, що спирається на емпіричні факти, передбачає застосування різноманітних методів наукового дослідження та призводить до узагальнень на типологічному рівні, визначається як науковий.

Як система наука характеризується цілісною єдністю кількісного і якісного накопичення знань, класифікованих за галузями наукових досліджень, процесом формування зв'язків між ними. **Системність науки** реалізується становленням та розвитком її як окремого соціального інституту, що об'єднує інтелектуальний потенціал суспільства.

Системи поділяють на:

1. Великі системи. Такі системи не вдається спостерігати одночасно з позиції одного спостерігача в часі або в просторі. У цих випадках систему розбивають на частини (підсистеми) і розглядають послідовно, переміщаючись з нижчого рівня на вищий. Підсистеми одного рівня ієрархії описують деякою мовою, а переходячи на наступний рівень, використовують метамову, яка є розширенням мови першого рівня за рахунок засобів опису самої мови. Створення такої мови рівноцінне визначенню законів утворення структури системи, а тому є найціннішим результатом дослідження.

2. Складні системи. Такі системи не можна скомпонувати з окремих частин. Здебільшого це означає, що спостерігач весь час змінює свою позицію відносно об'єкта і спостерігає його з різних сторін або різні спостерігачі досліджують об'єкт з різних сторін.

3. Динамічні системи. Такі системи перебувають у постійній зміні (на відміну від сталих статичних систем). Будь-яку зміну, що відбувається в такій системі, називають процесом. Динамічні системи зазвичай характеризуються такими властивостями: рівновага – здатність повертатися до початкового стану чи поведінки, компенсуючи впливи зовнішнього середовища; самоорганізація – здатність відновлювати свою структуру або поведінку для компенсації зовнішнього впливу, а також змінювати їх, пристосовуючись до умов навколишнього середовища; інваріантність поведінки – те, що залишається в поведінці системи незмінним у будь-який відрізок часу.

4. Кібернетичні або керуючі системи. За допомогою таких систем досліджують процеси управління в технічних, біологічних, економічних і соціальних системах. Центральною в цьому випадку є інформація як засіб впливу на поведінку системи.

Основні **функції науки**:

1. Пізнавальна. Здобуття істини про природу і суспільство через дослідження та пояснення явищ.

2. Евристична. Стимулювання нових ідей, відкриттів і пошуку нових шляхів досліджень.

3. Практична (виробнича). Створення технологій, продуктів, розв'язання реальних задач.

4. Світоглядна. Формування світогляду на основі наукових знань, забезпечення основи для моральних і етичних цінностей.

5. Соціальна. Вплив на розвиток суспільства, формування державної політики і технологічного прогресу.

6. Культурно-виховна. Виховання суспільства, розвиток інтелектуального потенціалу.

7. Освітня. Підготовка спеціалістів, поширення наукових знань через систему освіти.

Класифікація наук:

1. За цілями дослідження: ***фундаментальні*** – спрямовані на здобуття універсальних знань, пояснення законів природи і суспільства; ***прикладні*** – зосереджені на вирішенні конкретних практичних задач певної предметної області досліджень, зокрема – розробки (створення нових технологій і інновацій).

2. За предметом: ***природничі*** (фізика, хімія, біологія, геологія), ***технічні*** (інженерія – робототехніка, інформаційні технології тощо), ***суспільні*** (економіка, політичні науки, право), ***гуманітарні*** (історія, філософія, мовознавство).

Якщо наука – це систематичне здобуття достовірних знань, підтверджених доказами і що пройшли перевірку, то **псевдонаука** – це ідеї і практики, що видають себе за наукові, але не мають наукової бази, порушують наукову етику (наприклад, астрологія). **Протонаука**: назва для історичних філософських дисциплін, які існували до розробки наукового методу і стали згодом дійсними науками (наприклад, алхімія – хімія, астрологія – астрономія); також цей термін використовують для певних ідей, які ще не підтверджені або не є частиною офіційної науки. Цікаво, що давня астрологія може розглядатися як протонаука, а сучасна є псевдонаукою.

Антинаука – це сукупність близьконаукових та ненаукових теорій і поглядів, які заперечують науку, її методи та висновки, часто пропонуючи «альтернативне» світорозуміння. Це може проявлятися як у формі критичного ставлення до науки (антисцієнтизм), так і в радикальному запереченні її права на істину.

Достовірність результатів досліджень є одним з головних факторів, що характеризують цінність наукової роботи. Важливість доказовості, несуперечливості з емпіричними фактами і відтворюваності результатів – основні принципи для визначення науковості. Вони гарантують, що знання є достовірними та отриманими через перевірені методи і мають можливість бути незалежно відтвореними та підтвердженими. Водночас завжди потрібно знаходити місце для наукового скептицизму, тобто критичного ставлення до нових або суперечливих ідей, що допомагає уникнути поширення хибних тверджень і забезпечує об'єктивність досліджень.

1.3 Наука як дослідницька діяльність

Наукові дослідження – це активна діяльність людини з метою здобуття нового знання або переконливого пояснення існуючих фактів. Дослідження – це спостереження, експерименти, аналіз даних, моделювання і теоретичне осмислення. Вони мають на меті не лише здобуття знань, а й розвиток методології, технологій та інновацій, що сприяють прогресу суспільства.

Види наукової діяльності можна розподілити на певні різновиди:

1. Теоретичні дослідження: пошук та формулювання нових закономірностей, концепцій, теорій.

2. Експериментальні дослідження: підтвердження або спростування гіпотез через практичні дослідження.

Залежно від цілей та об'єктів, ці види діяльності взаємодіють і доповнюють один одного.

Серед етапів виконання теоретичних наукових досліджень, якщо ці дослідження проводяться згідно з ідеологією системного аналізу, можна виділити:

1 етап – постановка задач наукового дослідження та встановлення критеріїв оцінення отриманих у подальшому результатів;

2 етап – виділення об'єкта дослідження із зовнішнього середовища, побудови його структури та визначення характеру і поверхонь, ліній чи точок взаємодії цього об'єкта із зовнішнім середовищем та встановлення можливих обмежень;

3 етап – побудова математичних моделей для опису процесів в об'єктах дослідження, придатних для оцінення нинішнього чи попереднього станів цих об'єктів, або для управління процесами в них чи прогнозування їх майбутніх значень;

4 етап – аналіз процесів в об'єктах дослідження, з використанням синтезованих математичних моделей;

5 етап, який є заключним, – це етап оптимізації характеристик чи параметрів процесів в об'єктах дослідження із застосуванням встановлених на першому етапі критеріїв і визначених на третьому етапі математичних моделей та дотриманням заданих на другому етапі обмежень і урахуванням результатів аналізу, отриманих на четвертому етапі.

Що ж до етапів виконання експериментальних наукових досліджень, то згідно з усталеною практикою вони є такими:

1 етап – це визначення цілеспрямованості експериментального наукового дослідження та необхідності формування спеціальних зовнішніх впливів на об'єкт чи суб'єкт цього дослідження, тобто встановлення чи воно є способом підтвердження або спростування гіпотез, чи воно є способом створення бази даних, і чи достатньо лише пасивно спостерігати за процесами, які нас цікавлять, чи потрібно активно впливати на ці процеси;

2 етап – це розроблення плану проведення експериментів із застосуванням теорії їх оптимального планування;

3 етап – це формування вимог до засобів вимірювання параметрів об'єктів і процесів під час експериментального дослідження та вибір цих засобів;

4 етап – це безпосереднє проведення експериментів на об'єктах чи суб'єктах дослідження із фіксацією результатів цих експериментів;

5 етап – це обробка результатів експериментальних даних.

Основними критеріями науковості вважаються такі:

1. Об'єктивність. Результати не залежать від особистих переконань дослідника.

2. Предметність. Наука вивчає реальні об'єкти або явища.

3. Системність. Знання структуровані у єдину систему.

4. Здатність до перевірки. Можливість експериментально підтвердити висновки.

5. Раціональність. Підґрунтя знань – логічний, обґрунтований підхід.

6. Доказовість. Висновки підтверджуються фактами і доказами.

7. Обґрунтованість і достовірність. Висновки базуються на надійних даних.

8. Передбачуваність. Здатність прогнозувати нові явища та результати досліджень, що дозволяє планувати подальший розвиток і використання знань.

1.4 Понятійно-категоріальний апарат науки

Наука має чітко окреслені терміни, поняття та категорії, які використовуються для формулювання й аналізу досліджень.

Незважаючи на те, що будь-яке наукове дослідження, починаючи від його творчого задуму та постановки проблеми і закінчуючи висновками та оформленням звіту, відбувається за індивідуальними (часто неповторними) рисами та особливостями дослідника, можна виокремити деякі загальні підходи його проведення, які зазвичай називають методологією.

Під **методологією наукового дослідження** розуміють сукупність принципів, засобів, методів і форм організації та проведення наукового пізнання поставленої проблеми.

Методологія наділена апаратом дослідження, до якого відносять:

– принципи організації та проведення наукового дослідження;

– різні методи наукового дослідження та способи його проведення;

– понятійно-категоріальну основу наукового дослідження, зокрема: актуальність, проблематику, об'єкт, предмет, мету, завдання, наукову новизну, теоретичну і практичну значущість.

Усі складові елементи наукового дослідження є основою методологічного апарату та сукупно визначають інструментарій цілеспрямованого пізнання об'єктів, явищ і процесів. Результати наукових досліджень здебільшого виражають у вигляді системи понять, закономірностей, законів і теорій.

Методологія наукових досліджень базується на певних принципах, зокрема: «принцип єдності теорії і практики», що є взаємообумовленими; «принцип системності», на підставі якого встановлюється, що кожен досліджуваний об'єкт розглядається як єдине ціле і кожне явище оцінюється у взаємозв'язку з іншими; «принцип розвитку», що полягає у формуванні наукового знання із відображенням суперечностей, кількісних та якісних змін об'єкта дослідження; «принцип об'єктивності», що потребує врахування усіх факторів, які характеризують досліджувані об'єкти, явища і процеси; «принцип декомпозиції», який ґрунтується на поділі системи на частини, виділенні окремих комплексів робіт для створення умов ефективного аналізу та проєктування досліджуваних об'єктів, явищ і процесів; «принцип абстрагування», який полягає у виділенні істотних та упущенні несуттєвих проявів властивостей досліджуваних явищ і процесів.

Існують різні рівні методологічного аналізу, зокрема:

– філософський рівень, в який входять світоглядна інтерпретація результатів наукових досліджень, аналіз загальних форм і методів наукового мислення;

– загальнонауковий рівень, в який входять принципи, підходи, форми дослідження, які мають загальнонауковий характер;

– аналітико-синтетичний предметний рівень, який складається з конкретної сукупності методів і принципів дослідження, що застосовуються у певній галузі науки;

– міждисциплінарний рівень – це методологія міждисциплінарного комплексного дослідження, що, відповідно до логіки наукового пошуку, є сферою взаємодії різних наук, і результат можна отримати лише у разі врахування комплексного знання про предмет.

Будь-яке наукове дослідження проводиться у певній логічній послідовності, внаслідок чого забезпечується конкретність, поетапність та обґрунтованість. Значення методології наукового пошуку полягає в тому, що вона дає змогу систематизувати увесь обсяг наукового знання й створити умови для розроблення подальших ефективних напрямів дослідження. Знання методології у науковому дослідженні дає змогу впорядкувати отримані результати, розкрити можливості пошуку альтернативних шляхів вирішення поставленої проблеми, оцінити практичну цінність отриманих результатів, розвинути здатність до ведення наукових дискусій та сформувати інтелектуальні здібності особистості дослідника.

До основних категорій науки належать: науковий факт, поняття, термін, категорія, ідея, проблема, гіпотеза, концепція, теорія, закон, закономірність, науковий принцип.

Науковий факт – це підтверджені емпіричні дані.

Поняття – це форма мислення, яка відображає суттєві властивості, зв'язки та відношення предметів і явищ.

Термін – це слово або словосполучення, що позначає конкретне поняття в певній галузі знань чи діяльності.

Категорія – це загальне поняття, яке відображає універсальні властивості та відношення об'єктивної дійсності, або група однорідних предметів, явищ, осіб.

Поняття – це результат узагальнення та абстрагування від конкретних ознак предметів і явищ. Воно відображає загальні та суттєві риси, що дозволяють розрізняти їх від інших.

Термін – це мовне вираження поняття. Він має чітке значення в межах певної галузі знань і використовується для точного та однозначного позначення відповідного поняття.

Категорія відображає фундаментальні основи буття, мислення та пізнання. Вона не має чіткого означення, але слугує основою для побудови більш конкретних понять і термінів.

Ідея – це головна думка твору або загальний принцип теорії чи винаходу, взагалі, задум або найістотніша частина задуму, що надає початковий поштовх дослідження.

Проблема – це складне питання або завдання, яке потребує розв'язання, вивчення або дослідження. У широкому сенсі, проблема – це невирішена ситуація, яка потребує усунення або зміни. Проблема також може бути визначена як наявність чогось небажаного або відсутність чогось бажаного.

Гіпотеза – це припущення можливого вирішення проблеми, яке перевіряється експериментально. З погляду логіки, гіпотеза – прийом пізнавальної діяльності людини, форма мислення, що є здогадом, тобто положенням, яке тимчасово вважається можливим істинним, поки не встановлена істина.

Концепція (від лат. *conceptio* – розуміння) – це цілісна система поглядів, ідей або уявлень, що формують певний підхід до розуміння, пояснення або вирішення певного явища чи проблеми. Вона може бути як загальною ідеєю, так і конкретним планом дій.

Теорія – це система ідей, що пояснює певні явища, а закон – це твердження, яке описує спостережувані закономірності у природі або суспільстві. Закони часто є наслідком теорій або можуть бути основою для їх роз-

витку. Теорія (від грец. *θεωρία* – розгляд, дослідження) розглядається як сукупність висновків, що відображають відношення та зв'язки між явищами реальності у вигляді певної математичної інформаційної моделі. Теорія може містити декілька законів та інших наукових тверджень, які обґрунтовують певні явища. *Закон* – це твердження, що виражає необхідний, суттєвий, стійкий, повторюваний зв'язок між явищами. У науці закони зазвичай формулюються на основі експериментальних даних і теоретичних міркувань. Існує декілька видів законів, зокрема, фізичні, хімічні, біологічні та соціологічні.

Закономірність – це регулярність у явищах, відносно стійкі повторювані взаємозв'язки між об'єктами або явищами.

Науковий принцип – це фундаментальне положення або загальне правило, яке лежить в основі певної галузі знань та використовується для пояснення й передбачення явищ.

Формальні ознаки наукового дослідження: актуальність, тема, об'єкт і предмет дослідження, його мета та завдання, наукова новизна та практична цінність.

Обґрунтування **актуальності** проблеми передбачає відповідь на такі питання: наскільки важливою на сучасному етапі є зазначена проблема та який стан і повнота її розроблення в науковій літературі.

Тема відображає проблему в найбільш характерних рисах й окреслює її обриси та визначає межі майбутнього наукового дослідження. За допомогою сформульованої теми конкретизують основний задум дослідження у певному науковому напрямку, створюючи таким чином передумови успіху задуманої роботи загалом.

Об'єкт наукового дослідження – це сфера діяльності суб'єкта або сукупність зв'язків, відношень, якостей досліджуваного явища чи процесу, або загальна сфера пошуку у вирішенні поставленої проблеми.

Предмет дослідження – це поняття, під яким розуміють конкретизацію напрямку дослідження у вибраній проблематиці, тобто виділення в ній деякого аспекту чи ракурсу, який узагальнено об'єднує певну сукупність властивостей об'єкта, для встановлення конкретних меж у процесі дослідження.

Між поняттями «об'єкт» і «предмет» у науковому дослідженні наявна взаємозалежність як між цілим (загальним) та його складовими (конкретними), де ціле сприймається як об'єкт, а його певна конкретна частина – як предмет. *Мета* має бути спрямована на досягнення певного якісного результату за певними критеріями. Мета наукового дослідження у стислій формі виражає те основне, чого прагнуть досягнути внаслідок проведення дослідження. Мету здебільшого формулюють коротко і лаконічно, щоб запобігти незапланованим відхиленням у процесі проведення дослідження.

Наукова новизна – це поняття, яке виражає ставлення до результатів наукового дослідження. Під час формулювання наукової новизни передбачається визначення рівня і вагомості результату дослідження серед уже відомих наукових фактів і його значущості як нового знання.

Наукова новизна, як правило, формується у такому порядку: «Запропоновано … (результат) …, який на відміну від існуючих … (новизна) …, що дало змогу … (отриманий якісний результат)». Якщо результат такий, що вдосконалює існуючий, то це так і формулюється. Якщо результат зовсім новий, то потрібно його описати та вказати, що за суттю аналогів немає, а далі сформулювати якісний здобуток від цього результату.

Наукова новизна – це метод, модель, принцип, підхід, структура тощо.

Теоретична значущість – це характеристика важливості, доказовості та концептуальності отриманих результатів та їх наукової перспективності.

Практична цінність визначається реальними застосуваннями отриманих результатів дослідження у практичній діяльності людини. Це методики застосування та впровадження або (та) конкретні отримані практичні результати застосування наукових здобутків.

Висновки щодо сучасного стану та тенденцій розвитку науки у світі

Наука є складною, динамічною системою знань, що історично розвивається від емпіричних спостережень до високорівневих теоретичних узагальнених положень. Її еволюція охоплює усі етапи розвитку людської цивілізації – від античності до сучасної високотехнологічної епохи. Формування науки як системи пізнання супроводжувалося становленням її структури, категоріального апарату, методології та функцій. Вона перетворилася з окремих фрагментів знань на інтегровану систему, що охоплює природничі, технічні, суспільні та гуманітарні дисципліни. Сучасна наука – це не тільки інструмент пізнання, а й важлива форма суспільної практики, яка визначає напрями технологічного, економічного та культурного розвитку людства.

Методологічний апарат науки ґрунтується на принципах системності, об’єктивності, розвитку, єдності теорії та практики, що забезпечують логічність і послідовність наукового пошуку та дозволяють отримувати достовірні й відтворювані результати.

Наукове дослідження є основною формою реалізації пізнавальної функції науки, поєднуючи теоретичні та експериментальні підходи. Причому раціональність, можливість перевірки та доказовість виступають ключовими критеріями науковості сучасного пізнання. Як соціальний інститут, наука формує світогляд, виховує критичне мислення, розвиває інтелектуальний потенціал суспільства та визначає шляхи його сталого розвитку в умовах глобалізації.

Контрольні запитання та завдання

1. Поясніть еволюцію ролі науки від античності до сучасності та наведіть приклади.
2. Яким чином індустріалізація вплинула на темпи наукових відкриттів?
3. Чому інституціалізація науки (академії, наукові журнали) стала переломною для її розвитку?
4. Наведіть приклади зміни наукових парадигм та поясніть їхні наслідки.
5. Які етичні дилеми виникали в науковій практиці в різні історичні періоди?
6. Оцініть внесок учених, які виступали «мостами» між відповідними історичними епохами (І. Ньютон, Дж. Максвелл, М. Планк).
7. Чому знання історії науки важливі для сучасної наукової методології?
8. Побудуйте хронологічний таймлайн із десяти ключових від розвитку науки з короткими поясненнями.
9. Складіть порівняльну таблицю, у якій відображено основні характеристики епох Античності, Середньовіччя та Відродження.
10. Створіть інфографіку «Інституції науки: від академій до відкритої науки».
11. Проведіть контент-аналіз трьох журналів різних епох (цілі, стиль, рецензування).
12. Підготуйте довідку про п’ять учених, які поєднували різні епохи (їхній внесок та історичний контекст).
13. Синтезуйте п’ять висновків для сучасної методології на основі історичного огляду.
14. Дайте означення понять «термін», «поняття», «категорія» та поясніть відмінності між ними.
15. Що таке операційне визначення і як воно забезпечує відтворюваність результатів?
16. Як співвідносяться теоретичні та емпіричні поняття?
17. Чому багатозначність термінів може бути небезпечною у науковому тексті?
18. Що таке аналітичне та синтетичне визначення?
19. Чим відрізняється дефініція від описового пояснення?
20. Як пов’язані поняття, аксіоми й теореми в науковій теорії?
21. Поясніть терміни *антинаука*, *псевдонаука* та *протонаука*.

РОЗДІЛ 2 СУЧАСНА ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ І В СВІТІ

2.1 Законодавство України про науку

У цьому розділі розглянуто основні питання наукової діяльності, що регулюються законами України «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про вищу освіту», рівні вищої освіти – кваліфікації, ступені, основні вимоги до компетентностей і результатів навчання.

У **законі України «Про наукову і науково-технічну діяльність»** визначено основні терміни, закріплено правовий статус наукової діяльності, державні гарантії соціально-правового статусу вчених, повноваження суб'єктів та форми і методи державного регулювання та управління у науковій і науково-технічній діяльності.

Закон України «Про вищу освіту» визначає правові, організаційні, фінансові засади функціонування системи вищої освіти в Україні. Він встановлює принципи автономії закладів вищої освіти, поєднання освіти з наукою та виробництвом, а також гарантує право на вищу освіту для громадян України.

Основні положення Закону містять:

– Академічна автономія закладів вищої освіти. Визначено норми та положення, за якими заклади вищої освіти мають право самостійно розробляти та впроваджувати освітні програми, наукові дослідження, навчальні плани та програми.

– Фінансова та господарська автономія. Заклади вищої освіти мають право розпоряджатися власним майном, отримувати фінансування, відкривати рахунки в банках.

– Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти (НАЗЯВО). Цей незалежний орган контролює якість вищої освіти в Україні, проводить акредитацію освітніх програм і закладів.

– Студентське самоврядування. Закон передбачає активну участь студентів у прийнятті рішень, що стосуються їхнього навчання та життя в університеті.

– Вимоги до якості вищої освіти. Закон встановлює стандарти вищої освіти, які визначають необхідний рівень знань, умінь та навичок для випускників.

– Ступені вищої освіти. Визначено п'ять ступенів вищої освіти: молодший бакалавр, бакалавр, магістр, доктор філософії, доктор наук.

– Вступ до закладів вищої освіти. Вступ відбувається на основі результатів зовнішнього незалежного оцінювання (ЗНО).

– Державне замовлення. Закон передбачає конкурентну систему розподілу державного замовлення на підготовку фахівців.

– Академічна мобільність. Закон сприяє обміну студентами та викладачами між українськими та закордонними вишами, для чого навчальні

програми та склад спеціальностей наближаються за змістом і назвами до прийнятих у світі.

– Гарантоване фінансування наукових досліджень. Закон передбачає цільове фінансування наукових розробок в університетах, що отримали статус національного або дослідницького.

– Мова навчання. Мовою навчання в державних та комунальних закладах вищої освіти є державна мова.

Основні терміни та означення згідно з законом «Про наукову і науково-технічну діяльність»:

1. Наукова діяльність – інтелектуальна творча діяльність, спрямована на одержання нових знань та (або) пошук шляхів їх застосування. Основними її видами є фундаментальні та прикладні наукові дослідження.

2. Науково-технічна діяльність – наукова діяльність, спрямована на одержання і використання нових знань для вирішення технологічних, інженерних, економічних, соціальних проблем. Основними її видами є прикладні наукові дослідження та науково-технічні (експериментальні) розробки.

3. Науково-педагогічна діяльність – педагогічна діяльність у закладах вищої освіти, пов'язана з науковою та (або) науково-технічною діяльністю.

4. Науково-організаційна діяльність – діяльність, що спрямована на методичне, організаційне забезпечення та координацію наукової, науково-технічної і науково-педагогічної діяльності.

5. Фундаментальні наукові дослідження – теоретичні та експериментальні наукові дослідження, спрямовані на одержання нових знань про закономірності розвитку природи, суспільства, людини, їх взаємозв’язку. Результатом фундаментальних наукових досліджень є гіпотези, теорії, нові методи пізнання, відкриття законів природи, невідомих раніше явищ і властивостей матерії, виявлення закономірностей розвитку суспільства тощо, які не є орієнтованими на безпосереднє практичне використання у сфері економіки.

6. Прикладні наукові дослідження – теоретичні та експериментальні наукові дослідження, спрямовані на одержання і використання нових знань для практичних цілей. Результатом прикладних наукових досліджень є нові знання, призначені для створення нових або вдосконалення існуючих матеріалів, продуктів, пристроїв, методів, систем, технологій, конкретні пропозиції щодо розв’язання нагальних науково-технічних та суспільних завдань.

7. Учений – фізична особа, яка проводить фундаментальні та (або) прикладні наукові дослідження і отримує наукові та (або) науково-технічні (прикладні) результати.

8. Молодий учений – учений віком до 35 років, який має повну вищу освіту. Якщо учений має науковий ступінь доктора наук або навчається в докторантурі, то статус молодого вченого зберігається за ним до 40 років.

9. Науковий працівник – учений, що має повну вищу освіту, та відповідно до трудового договору (контракту) професійно займається науковою, науково-технічною, науково-організаційною, науково-педагогічною діяльністю і має відповідну кваліфікацію, незалежно від наявності наукового ступеня або вченого звання, підтверджену результатами атестації у випадках, визначених законодавством.

10. Науково-педагогічний працівник – учений, що має повну вищу освіту, за основним місцем роботи займається професійно науково-педагогічною та науковою або науково-технічною діяльністю та має відповідну кваліфікацію незалежно від наявності наукового ступеня або вченого звання, підтверджену результатами атестації у випадках, визначених законодавством.

11. Наукова (науково-дослідна, науково-технологічна, науково-технічна, науково-практична) установа (далі – наукова установа) – юридична особа незалежно від організаційно-правової форми та форми власності, що створена в установленому законодавством порядку, для якої наукова та (або) науково-технічна діяльність є основною.

12. Науковий підрозділ – структурний підрозділ юридичної особи, основним завданням якого є здійснення наукової, науково-технічної або науково-організаційної діяльності і у штаті якого посади наукових працівників становлять не менше половини усіх посад.

13. Дослідне виробництво – структурний підрозділ або юридична особа наукової установи, закладу вищої освіти, для яких основною діяльністю є виготовлення та апробація дослідних зразків, корисних моделей, нових продуктів, технологічних процесів.

14. Наукова (науково-технічна) робота – проведення наукових досліджень та науково-технічних (експериментальних) розробок з метою одержання наукового (науково-технічного (прикладного)) результату. Основними видами наукової (науково-технічної) роботи є науково-дослідні, дослідно-конструкторські, проєктно-конструкторські, дослідно-технологічні, технологічні, пошукові та проєктно-пошукові роботи, виготовлення дослідних зразків або партій науково-технічної продукції, а також інші роботи, пов’язані з доведенням нових наукових і науково-технічних знань до стадії практичного їх використання.

15. Науковий (науково-технічний) проєкт – комплекс заходів, пов’язаних із забезпеченням виконання та безпосереднім проведенням наукових досліджень та (або) науково-технічних розробок з метою досягнення конкретного наукового або науково-технічного (прикладного) результату.

16. Науковий результат – нове знання, одержане в процесі фундаментальних або прикладних наукових досліджень та зафіксоване на носіях наукової інформації. Науковий результат може бути у формі звіту, опублікованої статті, наукової доповіді, наукового повідомлення про науково-дослідну роботу, монографічного дослідження, наукового відкриття тощо.

17. Науково-технічний (прикладний) результат – одержані в процесі прикладних наукових досліджень, науково-технічних (експериментальних) розробок нове конструктивне чи технологічне рішення, експериментальний зразок, завершене випробування, розробка, яка впроваджена або може бути впроваджена у суспільну практику. Науково-технічний (прикладний) результат може бути у формі звіту, ескізного проєкту, конструкторської або технологічної документації на науково-технічну продукцію, дослідного зразка, об'єкта права інтелектуальної власності, проєкту нормативно-правового акту, нормативного документу або науково-методичних документів тощо.

18. Науково-технічні (експериментальні) розробки – науково-технічна діяльність, що базується на наукових знаннях, отриманих внаслідок наукових досліджень чи практичного досвіду, та пов'язана з доведенням таких знань до стадії їх практичного використання. Результатом науково-технічних (експериментальних) розробок є нові матеріали, продукти, процеси, пристрої, технології, системи, нові послуги або істотне вдосконалення тих, що вже виробляються (надаються) чи введені в дію.

19. Наукова (науково-технічна) продукція – науковий та (або) науково-технічний (прикладний) результат, що призначений для реалізації.

20. Грант – фінансові чи інші ресурси, надані на безоплатній і безповоротній основі державою, юридичними, фізичними особами та (або) міжнародними організаціями для розвитку матеріально-технічної бази наукової і науково-технічної діяльності, проведення конкретних фундаментальних та (або) прикладних наукових досліджень, науково-технічних (експериментальних) розробок, за напрямами і на умовах, визначених надавачами гранту.

21. Науково-технічний (науково-технологічний) комплекс – це об'єднання установ, організацій, підприємств, що проводять єдину науково-технічну (науково-технологічну) політику, спільно використовують науково-дослідну, дослідно-конструкторську, технологічну, дослідно-експериментальну та науково-виробничу базу, забезпечують повне або часткове відтворення інноваційного процесу: від формування ідеї і проведення наукових досліджень до виготовлення дослідного зразка, випуску дослідної партії та реалізації на ринку продукції. Усі учасники комплексу зберігають статус юридичних осіб та фінансову самостійність.

2.2 Організація наукової діяльності в Україні

Нині в Україні організаційне забезпечення наукових досліджень здійснюється лише в двох напрямках:

1) у науково-дослідних інститутах Національної академії наук (НАН) України та п'яти галузевих академій: Національній академії педагогічних наук (НАПН) України, Національній академії медичних наук України, Національній академії правових наук України, Національній академії аграрних наук України, Національній академії мистецтв України;

2) у науково-дослідних частинах закладів вищої освіти (ЗВО), підпорядкованих як Міністерству освіти і науки (МОН) України, так і ряду інших міністерств і відомств, до структури яких і до сьогодні ще входить частина галузевих ЗВО.

Посади, які можуть обіймати наукові дослідники, незалежно від того, до якої організації вони належать, носять назви: молодший науковий дослідник, науковий дослідник, старший науковий дослідник, провідний науковий дослідник, головний науковий дослідник. А наукові звання, які можуть бути присвоєні науковому досліднику, є звання старшого наукового співробітника і професора.

Крім того, наукові дослідники можуть обиратися таємним голосуванням членів академій наук до цих академій як їхні член-кореспонденти та дійсні члени (академіки).

До структури академічних науково-дослідних інститутів (НДІ) входять відділи, що об'єднують науково-дослідні лабораторії (НДЛ), котрі зі свого боку у своїй структурі можуть мати сектори. Окремі відділи можуть не мати у своїй структурі НДЛ, а окремі НДЛ можуть входити до структури НДІ, не входячи до структури відділів – це оговорюється Статутом конкретного НДІ, який затверджується Президією відповідної академії наук.

У ЗВО для організаційного забезпечення наукових досліджень створюються науково-дослідні частини, до структури яких входять науково-дослідні інститути, якщо їх створення оговорене статутом конкретного ЗВО, науково-дослідні центри та науково-дослідні лабораторії. У плані організації наукових досліджень науково-дослідній частині підпорядковуються також колективи кафедр, які створюються у ЗВО для забезпечення викладання студентам окремих навчальних дисциплін чи забезпечення фахової підготовки за окремою спеціальністю і входять до структури факультетів. Викладачі кафедр працюють на посадах асистентів, старших викладачів, доцентів та професорів – на ці посади викладачі переобираються за конкурсом кожні п'ять років. Окрім посад доцентів та професорів кафедр у ЗВО мають місце ще й вчені звання доцентів та професорів. Без отримання вченого звання доцента викладач має право працювати на посаді доцента не довше одного п'ятирічного терміну обрання. Аналогічно, на посаді професора викладач кафедри має право працювати без отримання вченого звання професора теж не довше одного п'ятирічного терміну. Щоб отримати вчене звання доцента, викладач зобов'язаний уже мати науковий ступінь доктора філософії у тій галузі наук, за якою кафедра, на якій він працює, готує спеціалістів з вищою освітою. Аналогічно, щоб отримати вчене звання професора викладач зобов'язаний уже мати науковий ступінь доктора наук у тій галузі, за якою кафедра, на якій він працює, готує спеціалістів з вищою освітою (бувають виключення присвоєння звання професора для спеціалістів, які мають особливі науково-педагогічні досягнення і не мають ступінь доктора наук, так само для доцентів без ступеня доктора філософії). Керівники кафедр називаються завідувачами кафедр, для яких

наявність вченого звання доцента чи професора є обов'язковою, теж переобираються кожні п'ять років, але не більше ніж на два п'ятирічних терміни поспіль, якщо кафедра не змінювала свою структуру у зв'язку з відкриттям підготовки на нові спеціальності.

У сьогоднішньому науково-технічному середовищі джерела фінансування наукових досліджень – це бізнес, якщо дослідження зацікавили інвесторів чи їх проведення необхідно для просування певного бізнес-проєкту; держава, якщо дослідження підпадає під певну програму бюджетного фінансування, чи міжнародні гранти.

Навчання у закладах вищої освіти України проводиться відповідно до **переліку галузей знань і спеціальностей**, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої та фахової передвищої освіти, затвердженого **постановою Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до переліку галузей знань і спеціальностей»** від 30 серпня 2024 року. Відповідно до цих спеціальностей здобувачі отримують дипломи молодшого бакалавра, бакалавра, магістра та доктора філософії. Наведемо тільки три групи спеціальностей E, F, G в таблиці 2.1, де перший стовпець у таблиці з рівнями освіти – фахова передвища освіта, другий – бакалавр, третій – магістр, четвертий – доктор філософії.

Таблиця 2.1 – Перелік галузей знань і спеціальностей

Найменування галузі знань	Код і найменування спеціальності	Рівень освіти, за яким здійснюється підготовка за спеціальністю				Код і найменування відповідної деталізованої галузі міжнародної стандартної класифікації освіти ISCED-F 2013
		Фахової передвищої освіти	Перший (бакалаврський)	Другий (магістерський)	Третій (освітньо-науковий / освітньо-творчий)	
1	2	3	4	5	6	7
E Природничі науки, математика та статистика	E1 Біологія та біохімія		+	+	+	0511 Biology; 0512 Biochemistry
	E2 Екологія	+	+	+	+	0521 Environmental sciences; 0522 Natural environments and wildlife
	E3 Хімія	+	+	+	+	0531 Chemistry

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
	E4 Науки про Землю	+	+	+	+	0532 Earth sciences
	E5 Фізика та астрономія		+	+	+	0533 Physics
	E6 Прикладна фізика та наноматеріали		+	+	+	0533 Physics; 0539 Physical sciences not elsewhere classified
	E7 Математика		+	+	+	0541 Mathematics
	E8 Статистика		+	+	+	0542 Statistics
F Інформаційні технології	F1 Прикладна математика		+	+	+	0541 Mathematics; 0613 Software and applications development and analysis
	F2 Інженерія програмного забезпечення	+	+	+	+	0613 Software and applications development and analysis
	F3 Комп'ютерні науки	+	+	+	+	0613 Software and applications development and analysis
	F4 Системний аналіз та наука про дані		+	+	+	0688 Inter-disciplinary programmers and qualifications involving information and communication technologies
	F5 Кібербезпека та захист інформації	+	+	+	+	0612 Database and network design and administration
	F6 Інформаційні системи і технології	+	+	+	+	0612 Database and network design and administration
	F7 Комп'ютерна інженерія	+	+	+	+	0612 Database and network design and administration

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
G Інженерія, виробництво та будівництво	G1 Хімічні технології та інженерія	+	+	+	+	0711 Chemical engineering and processes
	G2 Технології захисту навколишнього середовища	+	+	+	+	0712 Environmental protection technology
	G3 Електрична інженерія	+	+	+	+	0713 Electricity and energy
	G4 Енерговиробництво (за спеціалізацією)	+	+	+	+	0713 Electricity and energy
	G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка	+	+	+	+	0714 Electronics and automation
	G6 Інформаційно-вимірювальні технології	+	+	+	+	0714 Electronics and automation
	G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка	+	+	+	+	0714 Electronics and automation
	G8 Матеріалознавство	+	+	+	+	0788 Inter-disciplinary programmers and qualifications involving engineering, manufacturing and construction

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
	G9 Прикладна механіка	+	+	+	+	0715 Mechanics and metal trades
	G10 Металургія	+	+	+	+	0715 Mechanics and metal trades
	G11 Машино-будування (за спеціалі-заціями)	+	+	+	+	0715 Mechanics and metal trades
	G12 Авіаційна та ракетно-кос-мічна техніка	+	+	+	+	0716 Motor vehicles, ships and aircraft
	G13 Харчові технології	+	+	+	+	0721 Food processing
	G14 Деревообро-бні та меблеві технології	+	+	+	+	0722 Materials (glass, paper, plastic and wood)
	G15 Технології легкої про-мисловості	+	+	+	+	0723 Textiles (clothes, footwear and leather)
	G16 Гірництво та нафтогазові технології	+	+	+	+	0724 Mining and extraction
	G17 Архітектура та містобу-дування		+	+	+	0731 Architecture and town planning
	G18 Геодезія та землеустрій	+	+	+	+	0532 Earth sciences 0731 Architecture and town planning
	G19 Будівництво та цивільна інженерія	+	+	+	+	0732 Building and civil engineering
	G20 Видавництво та поліграфія	+	+	+	+	0211 Audio-visual techniques and media production

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
	G21 Біотехнології та біоінженерія	+	+	+	+	0588 interdisciplinary programmers and qualifications involving natural sciences, mathematics and statistics; 0788 interdisciplinary programmers and qualifications involving engineering, manufacturing and construction
	G22 Біомедична інженерія	+	+	+	+	0588 interdisciplinary programmers and qualifications involving natural sciences, mathematics and statistics; 0788 inter-disciplinary programmers and qualifications involving engineering, manufacturing and construction

Основні вимоги до компетентностей і результатів навчання у закладах вищої освіти України ґрунтуються на Державних стандартах вищої освіти та визначають, які знання, вміння, навички та інші компетентності має продемонструвати здобувач після завершення навчання. Компетентності – це динамічні комбінації знань, способів мислення, поглядів, цінностей, навичок та інших особистих якостей, що забезпечують успішне виконання професійних та/або подальших навчальних завдань. Результати навчання, зі свого боку, є конкретними, вимірюваними та діагностованими досягненнями, які здобувач має продемонструвати після завершення освітньої програми.

Важливо зазначити, що результати навчання можуть бути як загальними для всіх освітніх програм, так і специфічними для певної галузі знань. Державні стандарти вищої освіти визначають загальні вимоги, а освітні програми та навчальні плани конкретизують їх для кожної спеціальності.

Перелік наукових спеціальностей, за якими готуються наукові кадри вищої кваліфікації, встановлено відповідно до наукових дисциплін. Відповідно до цих спеціальностей здобувачі отримують після захисту дисертацій ступені кандидата наук (що відповідає рівню доктора філософії) та вищий

науковий ступінь доктора наук. В Україні **перелік наукових спеціальностей** затверджується **постановою Кабінету Міністрів України** (поки що діє перелік 2011 року). Наведено тільки фізико-математичні і технічні науки.

01 Фізико-математичні науки:

01.01.00 Математика:

- 01.01.01 Математичний аналіз.
- 01.01.02 Диференціальні рівняння.
- 01.01.03 Математична фізика.
- 01.01.04 Геометрія і топологія.
- 01.01.05 Теорія ймовірностей і математична статистика.
- 01.01.06 Алгебра і теорія чисел.
- 01.01.07 Обчислювальна математика.
- 01.01.08 Математична логіка, теорія алгоритмів і дискретна математика.
- 01.01.09 Варіаційне числення та теорія оптимального керування.
- 01.01.10 Дослідження операцій та теорія ігор.

01.02.00 Механіка:

- 01.02.01 Теоретична механіка.
- 01.02.04 Механіка деформівного твердого тіла.
- 01.02.05 Механіка рідини, газу та плазми.

01.03.00 Астрономія:

- 01.03.01 Астрометрія і небесна механіка.
- 01.03.02 Астрофізика, радіоастрономія.
- 01.03.03 Геліофізика і фізика Сонячної системи.

01.04.00 Фізика:

- 01.04.01 Фізика приладів, елементів і систем.
- 01.04.02 Теоретична фізика.
- 01.04.03 Радіофізика.
- 01.04.04 Фізична електроніка.
- 01.04.05 Оптика, лазерна фізика.
- 01.04.06 Акустика.
- 01.04.07 Фізика твердого тіла.
- 01.04.08 Фізика плазми.
- 01.04.09 Фізика низьких температур.
- 01.04.10 Фізика напівпровідників і діелектриків.
- 01.04.11 Магнетизм.
- 01.04.13 Фізика металів.
- 01.04.14 Теплофізика та молекулярна фізика.
- 01.04.15 Фізика молекулярних та рідких кристалів.
- 01.04.16 Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

– 01.04.17 Хімічна фізика, фізика горіння та вибуху.
– 01.04.18 Фізика і хімія поверхні.
– 01.04.19 Фізика полімерів.
– 01.04.20 Фізика пучків заряджених частинок.
– 01.04.21 Радіаційна фізика і ядерна безпека.
– 01.04.22 Надпровідність.
– 01.04.24 Фізика колоїдних систем.

01.05.00 Інформатика і кібернетика:
– 01.05.01 Теоретичні основи інформатики та кібернетики.
– 01.05.02 Математичне моделювання та обчислювальні методи.
– 01.05.03 Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем.
– 01.05.04 Системний аналіз і теорія оптимальних рішень.

05 Технічні науки:

05.01.00 Прикладна геометрія, інженерна графіка та ергономіка
– 05.01.01 Прикладна геометрія, інженерна графіка.
– 05.01.02 Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.
– 05.01.03 Технічна естетика.
– 05.01.04 Ергономіка.

05.02.00 Машинознавство:
– 05.02.01 Матеріалознавство.
– 05.02.02 Машинознавство.
– 05.02.04 Тертя та зношування в машинах.
– 05.02.08 Технологія машинобудування.
– 05.02.09 Динаміка та міцність машин.
– 05.02.10 Діагностика матеріалів і конструкцій.

05.03.00 Обробка матеріалів у машинобудуванні:
– 05.03.01 Процеси механічної обробки, верстати та інструменти.
– 05.03.05 Процеси та машини обробки тиском.
– 05.03.06 Зварювання та споріднені процеси і технології.
– 05.03.07 Процеси фізико-технічної обробки.

05.05.00 Галузеве машинобудування:
– 05.05.01 Машини і процеси поліграфічного виробництва.
– 05.05.02 Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій.
– 05.05.03 Двигуни та енергетичні установки.
– 05.05.04 Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт.
– 05.05.05 Піднімально-транспортні машини.
– 05.05.06 Гірничі машини.
– 05.05.08 Машини для металургійного виробництва.
– 05.05.10 Машини легкої промисловості.

– 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.
– 05.05.12 Машини нафтової та газової промисловості.
– 05.05.13 Машини та апарати хімічних виробництв.
– 05.05.14 Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціювання.
– 05.05.16 Турбомашини та турбоустановки.
– 05.05.17 Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.
– 05.05.18 Машини та обладнання промислового рибальства.

05.07.00 Авіаційна та ракетно-космічна техніка:
– 05.07.01 Аеродинаміка та газодинаміка літальних апаратів.
– 05.07.02 Проєктування, виробництво та випробування літальних апаратів.
– 05.07.06 Наземні комплекси, стартове обладнання.
– 05.07.12 Дистанційні аерокосмічні дослідження.
– 05.07.14 Авіаційно-космічні тренажери.

05.08.00 Кораблебудування:
– 05.08.01 Теорія корабля.
– 05.08.03 Конструювання та будування суден.

05.09.00 Електротехніка:
– 05.09.01 Електричні машини і апарати.
– 05.09.03 Електротехнічні комплекси та системи.
– 05.09.05 Теоретична електротехніка.
– 05.09.07 Світлотехніка та джерела світла.
– 05.09.08 Прикладна акустика та звукотехніка.
– 05.09.12 Напівпровідникові перетворювачі електроенергії.
– 05.09.13 Техніка сильних електричних та магнітних полів.

05.11.00 Прилади:
– 05.11.01 Прилади та методи вимірювання механічних величин.
– 05.11.03 Гіроскопи та навігаційні системи.
– 05.11.04 Прилади та методи вимірювання теплових величин.
– 05.11.05 Прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин.
– 05.11.07 Оптичні прилади та системи.
– 05.11.08 Радіовимірювальні прилади.
– 05.11.13 Прилади і методи контролю та визначення складу речовин.
– 05.11.17 Біологічні та медичні прилади і системи.

05.12.00 Радіотехніка та телекомунікації:
– 05.12.02 Телекомунікаційні системи та керування ними.
– 05.12.07 Антени та пристрої мікрохвильової техніки.
– 05.12.13 Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

- 05.12.17 Радіотехнічні та телевізійні системи.
- 05.12.20 Оптоелектронні системи.

05.13.00 Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація:
- 05.13.03 Системи та процеси керування.
- 05.13.05 Комп'ютерні системи та компоненти.
- 05.13.06 Інформаційні технології.
- 05.13.07 Автоматизація процесів керування.
- 05.13.09 Медична та біологічна інформатика і кібернетика.
- 05.13.12 Системи автоматизації проєктувальних робіт.
- 05.13.21 Системи захисту інформації.
- 05.13.22 Управління проєктами і програмами.
- 05.13.23 Системи та засоби штучного інтелекту.

05.14.00 Енергетика:
- 05.14.01 Енергетичні системи та технічні комплекси.
- 05.14.02 Електричні станції, мережі і системи.
- 05.14.06 Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.
- 05.14.08 Перетворювання відновлюваних видів енергії.
- 05.14.14 Теплові та ядерні енергоустановки.

05.15.00 Розробка корисних копалин:
- 05.15.01 Маркшейдерія.
- 05.15.02 Підземна розробка родовищ корисних копалин.
- 05.15.03 Відкрита розробка родовищ корисних копалин.
- 05.15.04 Шахтне та підземне будівництво.
- 05.15.06 Розробка нафтових та газових родовищ.
- 05.15.08 Збагачення корисних копалин.
- 05.15.09 Геотехнічна і гірнича механіка.
- 05.15.10 Буріння свердловин.
- 05.15.12 Розробка морських родовищ корисних копалин.
- 05.15.13 Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища.

05.16.00 Металургія:
- 05.16.01 Металознавство та термічна обробка металів.
- 05.16.02 Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.
- 05.16.04 Ливарне виробництво.
- 05.16.06 Порошкова металургія та композиційні матеріали.

05.17.00 Хімічні технології:
- 05.17.01 Технологія неорганічних речовин.
- 05.17.03 Технічна електрохімія.
- 05.17.04 Технологія продуктів органічного синтезу.
- 05.17.06 Технологія полімерних і композиційних матеріалів.
- 05.17.07 Хімічна технологія палива і паливно-мастильних матеріалів.

- 05.17.08 Процеси та обладнання хімічної технології.
- 05.17.11 Технологія тугоплавких неметалічних матеріалів.
- 05.17.14 Хімічний опір матеріалів та захист від корозії.
- 05.17.15 Технологія хімічних волокон.
- 05.17.18 Мембрани та мембранна технологія.
- 05.17.21 Технологія водоочищення.

05.18.00 Технологія харчової та легкої промисловості:

- 05.18.01 Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів та харчових концентратів.
- 05.18.02 Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур.
- 05.18.04 Технологія м'ясних, молочних продуктів і продуктів з гідробіонтів.
- 05.18.05 Технологія цукристих речовин та продуктів бродіння.
- 05.18.06 Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів.
- 05.18.08 Товарознавство непродовольчих товарів.
- 05.18.12 Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв.
- 05.18.13 Технологія консервованих і охолоджених харчових продуктів.
- 05.18.15 Товарознавство харчових продуктів.
- 05.18.16 Технологія харчової продукції.
- 05.18.18 Технологія взуття, шкіряних виробів і хутра.
- 05.18.19 Технологія текстильних матеріалів, швейних і трикотажних виробів.

05.22.00 Транспорт:

- 05.22.01 Транспортні системи.
- 05.22.02 Автомобілі та трактори.
- 05.22.06 Залізнична колія.
- 05.22.07 Рухомий склад залізниць та тяга поїздів.
- 05.22.09 Електротранспорт.
- 05.22.11 Автомобільні шляхи та аеродроми.
- 05.22.12 Промисловий транспорт.
- 05.22.13 Навігація та управління рухом.
- 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту.

05.23.00 Будівництво:

- 05.23.01 Будівельні конструкції, будівлі та споруди.
- 05.23.02 Основи і фундаменти.
- 05.23.03 Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.
- 05.23.04 Водопостачання, каналізація.
- 05.23.05 Будівельні матеріали та вироби.

– 05.23.06 Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини.
– 05.23.08 Технологія та організація промислового та цивільного будівництва.
– 05.23.16 Гідравліка та інженерна гідрологія.
– 05.23.17 Будівельна механіка.
– 05.23.20 Містобудування та територіальне планування.

05.24.00 Геодезія:
– 05.24.01 Геодезія, фотограмметрія та картографія.
– 05.24.04 Кадастр та моніторинг земель.

05.26 Безпека життєдіяльності:
– 05.26.01 Охорона праці.

05.27.00 Електроніка:
– 05.27.01 Твердотільна електроніка.
– 05.27.02 Вакуумна, плазмова та квантова електроніка.
– 05.27.06 Технологія, обладнання та виробництво електронної техніки.

2.3 Наукові ступені та звання у світовій практиці

У США існує велика кількість освітніх і наукових спеціальностей для здобуття ступеня доктора філософії (*Doctor of Philosophy, PhD*). Їх можна умовно розділити на декілька великих груп, зокрема: гуманітарні науки, природничі науки, технічні науки, суспільні науки та мистецтво. Конкретні спеціальності всередині цих груп можуть відрізнятися в різних університетах, але загалом охоплюють широкий спектр наукових досліджень. Окремо розглянемо науковий ступінь доктора наук (*Doctor of Science* (*DSc*) *Degree*), який у нас вважається найвищим науковим ступенем. В Австралії вважається, що ступінь доктора наук (*DSc*) є вищим за магістерський (*MSc*) та за доктора філософії (*PhD*). Науковий ступінь *DSc* присвоюється на основі роботи, що є оригінальною та вносить вагомий внесок у відповідну наукову галузь. Наукова робота подається у вигляді публікацій та розділів книг, які оцінюються комісією. Ступінь надає здобувачу особливий статус у галузі науки та визнання його як науковця. Разом з тим, у США, зокрема, Блумбергська школа охорони здоров'я (*The Bloomberg School*) розглядає ступінь доктора наук як альтернативний ступінь до ступеня доктора філософії. У Великій Британії ступінь доктора наук є вищим за рівнем, ніж ступінь доктора філософії (*PhD*). Потрібно зауважити, що у Великій Британії ступінь доктора наук (*Higher Doctorate)* розглядається як такий, що надається на основі наукової роботи, яка має вагоме значення для розвитку наукової галузі. Такий ступінь присуджується за опубліковані праці виняткового характеру, що містять оригінальний внесок у розвиток наукових знань і наукової галузі. Здобувачі ступеня мають продемонструвати свій

внесок у наукову галузь, підтверджений відповідними публікаціями. Отримання цього ступеня займає значно більше часу, оскільки претендент має зарекомендувати себе провідним ученим у своїй науковій галузі знань. Останнім часом цей ступінь присуджується дуже рідко, оскільки, по суті, перетворився на почесне звання. Ступінь доктора наук є важливим етапом професійного зростання та забезпечує можливості для подальшого розвитку наукової й викладацької кар'єри у Німеччині та Республіці Польща. Здобуття такого ступеня розглядається як процес підготовки до габілітації, який закінчується захистом дисертації перед спеціальною експертною комісією. Диплом доктора габілітованого надає право обіймати посаду професора та здобувати вчене звання професора; у Республіці Польщі – звичайного або надзвичайного. У Франції також виокремлюють ступінь доктора наук; водночас система передбачає два рівні докторських ступенів. Перший відповідає докторському ступеню *PhD* і має два варіанти: 1) так званий ступінь доктора третього циклу (*doctoral de troisième cycle)* чи доктора галузі наук *(diplôme d'études approfondies*); 2) ступінь *«Doctoral d'État».* Проте для працівників науково-дослідної сфери його замінює «*habilitation to direct theses»* – дисертація, побудована на власних наукових дослідженнях. Отримання ступеня «*doctoral d'État»* або «*habilitation»* розглядається як обов'язковий етап наукової кар'єри після отримання ступеня *PhD*. На здобуття цього ступеня потрібно багато років. Тут, як і в інших країнах ЄС, «*habilitation»* (докторська дисертація) – друга частина дисертаційного дослідження чи підбірка публікацій, що висвітлює результати досліджень претендента з певної проблеми.

У межах Європейського простору вищої освіти (EHEA) та Європейського дослідницького простору (ERA) всі освітні та наукові ступені узгоджуються з Європейською рамкою кваліфікацій для навчання впродовж життя (EQF), затвердженою Європейським парламентом і Радою ЄС. Відповідно до цієї рамки доктор філософії (*PhD*) або інший еквівалентний ступінь належить до восьмого рівня кваліфікацій, що є найвищим освітньо-науковим рівнем у системі Європейського Союзу.

Рівень 8 EQF характеризується здатністю до створення нових знань через оригінальні дослідження, володінням високими навичками наукової критики, інноваційного мислення та інтелектуальної автономії. Особи, які мають цей рівень кваліфікації, здатні інтегрувати знання з різних галузей, генерувати нові підходи до розв'язання складних наукових і практичних проблем, а також брати відповідальність за розвиток наукової школи чи напрямку досліджень.

Докторські програми в країнах Європейського Союзу будуються відповідно до вимог Болонського процесу, що передбачає:

- наявність індивідуального дослідницького проєкту;
- залучення наукового керівника або наукового комітету;
- проведення досліджень, які мають оригінальний характер і можуть бути опубліковані в міжнародних рецензованих виданнях;

– оцінення результатів досліджень незалежними експертами.

Таким чином, сучасна європейська модель підготовки докторів філософії орієнтована не лише на здобуття знань, а насамперед на створення нового наукового знання, інтегрованого у глобальний науковий простір.

2.4 Відкрита наука

Відкрита наука (*Open Science*) – це сучасний підхід до наукової діяльності, який базується на принципах прозорості, доступності та співпраці на всіх етапах дослідження. Ця модель передбачає відкритий доступ до наукових публікацій, дослідницьких даних, методологій та інструментів, а також відкритий обмін знаннями та вільну комунікацію між дослідниками й суспільством. Основна мета – зробити науку доступнішою, прозорішою та ефективнішою для прискорення науково-технічного прогресу та суспільного розвитку.

Основні принципи відкритої науки:

1) відкритий доступ (*Open Access)* – забезпечення вільного, безоплатного і необмеженого доступу до наукових публікацій та результатів досліджень;

2) відкриті дані (Open Data) – доступність дослідницьких даних, що дозволяє їх повторне використання, аналіз та перевірку;

3) відкритий код (*Open Source)* – надання доступу до програмного забезпечення та інструментів, що використовуються в дослідженнях, для підвищення ефективності та відтворюваності;

4) відкрите експертне оцінювання (*Open Peer Review)* – залучення широкої спільноти до процесу рецензування наукових робіт для підвищення їх якості та надійності;

5) відкриті навчальні ресурси (*Open Educational Resources)* – створення та поширення освітніх матеріалів, доступних для всіх;

6) відкрита співпраця – заохочення спільних досліджень та обміну знаннями між вченими, а також залучення громадян до наукового процесу.

У межах відкритої науки формуються нові моделі співпраці, що об’єднують дослідників, громадськість і бізнес.

Краудсорсинг у науці є однією з таких моделей. Він полягає у колективному залученні широкої спільноти до виконання окремих етапів дослідження – збору даних, спостережень, перевірки результатів чи аналізу інформації. Завдяки відкритим науковим платформам і цифровим сервісам, громадяни можуть безпосередньо долучатися до науки, створюючи великі масиви достовірних даних. Такі «громадянські дослідження» (*Citizen Science*) реалізують принципи відкритої науки, розширюючи коло учасників і підвищуючи ефективність досліджень.

Іншою формою реалізації ідеї відкритої науки є стартапи на основі наукових розробок, які поєднують дослідницьку діяльність із підприємництвом. У відкритій науковій екосистемі результати досліджень, дані й про-

грамні рішення доступні для використання, вдосконалення та комерціалізації. Це створює умови для появи інноваційних компаній, що швидко впроваджують наукові ідеї в економіку. Науково-технологічні стартапи реалізують принципи відкритості через обмін знаннями, співпрацю між університетами, інкубаторами та бізнесом, сприяючи розвитку економіки знань.

Відкрита наука стає стратегічним пріоритетом в Україні, зокрема в рамках європейської інтеграції. Національна академія наук України та провідні університети активно впроваджують політику відкритої науки, створюють інституційні репозиторії та проводять заходи з навчання та популяризації принципів відкритої науки серед науковців.

Висновки щодо сучасної організації наукової діяльності в Україні і в світі

Сучасна наукова діяльність в Україні регулюється системою законодавчих актів, що визначають правові, організаційні та соціальні засади функціонування наукової сфери. Визначальну роль відіграють закони України «Про наукову і науково-технічну діяльність» та «Про вищу освіту», які гарантують автономію наукових установ, академічну свободу, фінансування досліджень та інтеграцію науки з освітою і виробництвом. Ці нормативні акти створюють основу для розвитку фундаментальних і прикладних досліджень, підготовки кадрів та міжнародного наукового співробітництва. Організаційна структура науки в Україні охоплює Національну академію наук, галузеві академії та наукові підрозділи університетів. Така система поєднує академічну, університетську і прикладну науки, формуючи єдиний науковий простір. Важливим чинником ефективності є система фінансування, що містить державні програми, приватні інвестиції та міжнародні гранти. Система наукових ступенів і звань узгоджується з міжнародними стандартами, забезпечуючи сумісність з європейським освітньо-науковим простором. Вона охоплює всі галузі знань і сприяє інтеграції у глобальну наукову спільноту. У світовій практиці наукові ступені (*PhD, DSc* тощо) є основою академічної кар'єри, відображаючи рівень кваліфікації та науковий внесок дослідника. Сучасною тенденцією є зростання вимог до відкритості, практичної значущості та міждисциплінарності результатів досліджень. Важливим напрямом розвитку є впровадження принципів відкритої науки (*Open Science*), що передбачає прозорість досліджень, відкритий доступ до даних і публікацій, а також ширшу співпрацю між науковцями, освітянами та суспільством.

Отже, сучасна наукова діяльність в Україні та світі визначається інтеграцією правових, освітніх, інституційних і технологічних механізмів та орієнтацією на відкритість, міжнародну кооперацію й сталий розвиток суспільства.

Контрольні запитання та завдання

1. Які нормативні акти є базовими для регулювання наукової діяльності в Україні та що саме вони визначають?
2. Перелічіть ключові положення Закону України «Про вищу освіту», зокрема щодо автономії ЗВО, діяльності НАЗЯВО, студентського самоврядування, стандартів якості та освітніх ступенів.
3. У чому полягає академічна автономія ЗВО?
4. Які функції виконує НАЗЯВО?
5. Назвіть усі п’ять ступенів вищої освіти, визначені Законом України «Про вищу освіту».
6. У яких двох основних напрямках сьогодні здійснюється організаційне забезпечення наукових досліджень в Україні?
7. Які типові наукові посади та які вчені звання можуть мати наукові працівники?
8. Як відбувається обрання науковців до складу академій наук (член-кореспонденти, академіки)?
9. Опишіть типову структуру академічного НДІ (відділи, НДЛ, сектори).
10. Які організаційні одиниці створюються у ЗВО для забезпечення наукової діяльності (НДЧ, НДІ, центри, НДЛ, кафедри) і як вони взаємодіють?
11. Які основні джерела фінансування наукової діяльності згадуються у розділі (державні програми, приватні інвестиції, міжнародні гранти) і чому їх поєднання важливе?
12. Чим відрізняються «результати навчання» від «компетентностей» і хто встановлює загальні та спеціальні вимоги?
13. Які базові терміни подані у законодавстві для опису результатів і процесів НД (науково-технічні розробки, наукова продукція, грант, науково-технологічний комплекс)?
14. Дайте означення науково-технічних (експериментальних) розробок і наведіть приклади можливих результатів.
15. Як у цьому розділі підручника визначається «грант» і з якою метою він надається?
16. Яким чином у світовій практиці співвідносяться ступені *PhD* та *DSc* і який науковий внесок вимагається для здобуття *DSc*?
17. Що таке габілітація, у чому полягає її роль для наукової кар’єри у країнах ЄС (зокрема Республіка Польща, Німеччина) і як вона пов’язана зі званням професора?
18. Які рівні докторських ступенів існують у Франції та як вони співвідносяться з PhD і habilitation?
19. Назвіть і коротко охарактеризуйте принципи Відкритої науки *(Open Access, Open Data, Open Source, Open Peer Review, OER*, відкрита співпраця).
20. Чому ***відкрита наука*** визначена стратегічним пріоритетом в Україні і які дії для цього роблять НАН України та університети?

РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Наукове дослідження в історичному, теоретичному та соціальному контекстах

Історичний, прагматичний, теоретичний і соціальний контексти поняття «наукове дослідження» відображають його еволюцію, цільове призначення, методи та роль у суспільстві. Історично наукове дослідження розвивалося від простих спостережень до системного вивчення закономірностей; прагматично воно спрямоване на розв'язання конкретних проблем та покращення добробуту; теоретично грунтується на абстракціях та узагальненнях; а соціально постає процесом, що впливає на розвиток суспільства й формує його систему знань.

Поняття наукового дослідження пройшло шлях від первинних спостережень та емпіричних знань до сучасних системних методів, спрямованих на виявлення закономірностей та можливостей зміни об'єктів.

Наукові дослідження можуть мати фундаментальний чи прикладний характер, спрямований на вирішення практичних завдань та покращення добробуту суспільства. Фундаментальні дослідження, що розглядають базові закономірності наукових законів та природних явищ, завжди передують прикладним і становлять основу для їх здійснення. Результати досліджень використовуються для створення нових технологій, матеріалів, методів лікування та інших практичних рішень.

Наукові дослідження базуються на теоретичних методах, таких як аналіз, синтез, абстрагування, узагальнення, індукція та дедукція.

Метою теоретичного дослідження є виявлення закономірностей виникнення, розвитку та функціонування об'єктів та явищ.

Наукове дослідження є частиною соціального процесу, що відображає потреби суспільства та формує його світогляд. Воно сприяє розвитку знань, технологій та культури, що, також, впливає на суспільний прогрес.

3.2 Наукове дослідження та суміжні поняття

Наукове дослідження є процесом пізнання, який використовує інформацію для отримання нового знання, що може призвести до відкриттів та винаходів. Це не окремі поняття, а складові єдиного ланцюжка: інформація стає знанням через пошук і розвідку в рамках наукового дослідження, а результат цього процесу може стати відкриттям або винаходом, що безпосередньо рухає сам прогрес.

Наукове дослідження спирається на вже наявну інформацію, а також генерує нову інформацію, що стає основою для подальших досліджень. Дослідження містить елементи пошуку та розвідки – цілеспрямований процес знаходження та збору необхідної інформації, а також дослідження

невідомих аспектів об'єкта дослідження. Основна мета наукового дослідження – отримання нового, систематизованого та перевіреного знання про навколишній світ, а також оновлення існуючого знання. Коли в процесі дослідження виявляються нові, раніше невідомі закономірності, явища або факти, це називається відкриттям.

Винахід – це створення нового технічного, технологічного чи соціального рішення на основі наукових знань, що є результатом застосування знань, здобутих у процесі дослідження. Відкриття та винаходи, що є результатом наукових досліджень, безпосередньо впливають на суспільний та технічний прогрес, покращуючи життя людей та розвиваючи науку.

Таким чином, наукове дослідження є ключовою ланкою в процесі отримання знань, яке сприяє розвитку науки та суспільства загалом і є головним елементом для отримання нового знання через систематичний пошук інформації та її аналіз за допомогою наукових методів, що ведуть до відкриттів і визначення закономірностей. Воно є основою для наукового прогресу та може містити розвідувальні етапи, але відрізняється від звичайного пошуку тим, що є цілеспрямованим процесом пізнання, а відкриття та винаходи є його результатами.

Отже, наукове дослідження – це процес перетворення інформації на нові знання. Воно спрямоване на отримання, систематизацію та перевірку знань про навколишній світ. Пошук є складовою наукового дослідження, оскільки дослідники шукають інформацію, факти, дані для розв'язання наукових проблем, а розвідка (або розвідувальні дослідження) – це один із типів наукових досліджень, який має на меті виявлення нових, неопрацьованих аспектів теми.

Відкриття – це результат наукового дослідження, який полягає у встановленні нових, досі невідомих закономірностей, явищ чи об'єктів природи.

Винахід є наслідком застосування наукових знань для створення нового технічного рішення, пристрою або методу.

Наукове дослідження є процесом пізнання, що використовує наукові методи для отримання нового знання. Знання є результатом цього процесу, а відкриття та винаходи – його продуктами.

3.3 Значення та функції наукових досліджень у сучасному суспільстві

Наукові дослідження мають ключове значення для сучасного суспільства, оскільки вони є основою прогресу, забезпечують нові знання, технології та інновації. Їхні функції охоплюють: пізнавальні (вивчення явищ і законів світу), практично-дієві (впровадження результатів у виробництво та суспільні процеси), культурно-виховні (формування світогляду, розвиток культури та особистості) та світоглядні (формування об'єктивного погляду на світ). Наука сприяє розвитку суспільства, вдосконаленню виробництва,

покращенню якості життя та формуванню нового покоління. Наука є рушійною силою для розвитку суспільства, забезпечуючи появу нових технологій та інновацій, що вдосконалюють різні сфери життя. Дослідження дозволяють глибше пізнавати світ, його явища та закони, що є необхідним для розуміння реальності. Впровадження наукових результатів у виробництво та інші сфери діяльності сприяє їхньому вдосконаленню та підвищенню ефективності. Наука формує критичне мислення, гуманістичні цінності та сприяє самовдосконаленню людини.

Основні **функції наукових досліджень**:

1. Пізнавальна функція. Усебічне, достовірне та об'єктивне вивчення явищ, процесів, їхніх зв'язків і характеристик на основі розроблених принципів та методів.

2. Практично-дієва функція. Отримання корисних для діяльності людини результатів та їхнє впровадження у виробництво для підвищення його ефективності, а також вдосконалення суспільних відносин.

3. Культурно-виховна функція. Розвиток культури, формування світогляду та гуманізація процесу виховання, що сприяють розвитку людини та суспільства загалом.

4. Світоглядна функція. Формування об'єктивного та науково обґрунтованого погляду на світ, водночас озброюючи людину знаннями про закони реального світу.

3.4 Наукове дослідження як систематизована форма пізнання

Наукове дослідження, на відміну від інших форм отримання інформації, ґрунтується на системному застосуванні наукових методів для встановлення закономірностей, а не на інтуїтивній чи випадковій дії. Хоча досвід (практичний і теоретичний), інстинкти, навчання та навіть випадковість можуть бути джерелом інформації та рішень, тільки науковий підхід гарантує обґрунтованість та надійність результатів.

Основні складові наукового дослідження:

1. Мета. Встановлення закономірностей виникнення, розвитку та перетворення певних об'єктів або явищ для їх раціонального використання.

2. Методи. Систематичне використання науково обґрунтованих методів, таких як спостереження, вимірювання, експеримент, аналіз, синтез, індукція та дедукція.

3. Рівні. Поділяються на емпіричний (збір даних) та теоретичний (формування висновків та теорій) рівні.

4. Результат. Отримання нових знань, які є надійними та перевіреними.

Інші види отримання інформації або розв'язання проблем:

1. Практичний і теоретичний досвід. Знання, здобуті із власного або чужого досвіду, які допомагають у вирішенні проблем, але можуть бути суб'єктивними.

2. Інстинктивні дії. Несвідомі, миттєві реакції, що базуються на вроджених або набутих шаблонах поведінки і не завжди призводять до оптимального рішення.

3. Навчання. Процес здобуття нових знань і навичок, що може базуватися як на наукових знаннях, так і на емпіричному досвіді.

Наукове дослідження відрізняється від інших методів своєю систематичністю, об'єктивністю та методичною послідовністю, що дозволяє отримувати достовірні та перевірені знання про світ.

3.5 Визначення проблеми дослідження

Науковий процес складається з таких основних стадій: визначення проблеми, підготовка та планування дослідження (включає побудову гіпотез та вибір методів), виконання дослідження (збір та аналіз даних), а також оприлюднення й обговорення результатів (презентація, рецензування та їх уточнення).

1. Визначення проблеми дослідження.

Виявлення наукової проблеми – це формулювання питання, яке потребує науково-практичного вирішення, недостатньо досліджено або містить протиріччя. Проблеми можуть виникати як з реальної практики, так і з потреб самої науки, наприклад, необхідність удосконалення методів чи уточнення понять.

2. Підготовка та планування дослідження.

Формулювання гіпотез – припущення, які є потенційними відповідями на поставлену проблему. Визначається, як саме буде проводитися дослідження: вибираються конкретні методи, прийоми та операції, що відповідають меті та завданням дослідження. Складається план роботи, визначаються завдання та терміни їх виконання.

3. Виконання дослідження.

Здійснюється збір інформації відповідно до вибраної методології. Отримані дані аналізуються та узагальнюються.

4. Оприлюднення, обговорення й уточнення результатів.

Результати дослідження презентуються науковій спільноті через публікації, доповіді на конференціях тощо. Відбувається обговорення результатів з іншими фахівцями, що дозволяє отримати зворотний зв'язок. На основі обговорення та рецензування результати можуть бути скориговані, доповнені або переглянуті, що є важливим етапом для досягнення достовірності та повноти наукової продукції.

3.6 Класифікація наукових досліджень

Наукові дослідження класифікуються за різними ознаками. Наприклад, за цільовим призначенням можна розподілити дослідження на фундаментальні (отримання нових знань про закономірності розвитку суспільства,

природи, пізнання), прикладні (використання нових знань для практичних цілей, створення нових матеріалів, методів, технологій) та науково-технічні (завершальні, практично орієнтовані дослідження, що ведуть до створення нових або вдосконалення існуючих продуктів і технологій).

1. **Фундаментальні дослідження.**

Отримання нових, універсальних знань про світ, природу та суспільство. Такі дослідження не спрямовані на конкретне практичне застосування одразу, а слугують базою для майбутніх прикладних розробок. Їх результатом є нові знання, уточнення термінології, виявлення закономірностей, властивостей об'єктів тощо.

2. **Прикладні дослідження.**

Отримання практичних результатів, які можуть бути використані для вирішення конкретних завдань. Вони спрямовані на розробку нових або вдосконалення існуючих матеріалів, пристроїв, методів, систем, технологій. Результат прикладних досліджень – це конкретні пропозиції, нові технології, матеріали, методи, спрямовані на вирішення практичних науково-технічних та суспільних завдань.

Класифікуються такі методи наукових досліджень: ***емпіричні*** (спостереження, вимірювання, експеримент), ***теоретичні*** (аналіз, синтез, моделювання, індукція, дедукція) та ***емпірико-теоретичні*** (комплексні), які поєднують обидва рівні для досягнення мети дослідження. Більш детально це питання розглянуто у четвертому розділі цього підручника.

Класифікація наукових досліджень допомагає структурувати науковий процес, надаючи дослідникам інструменти для ефективного досягнення мети дослідження на різних етапах.

Наукові дослідження класифікують також за джерелами фінансування на *держбюджетні* (за рахунок коштів державного бюджету) та *госпрозрахункові* (комерційні, на замовлення підприємств, установ та організацій), а також можуть містити фінансування за рахунок грантів, коштів вітчизняних та іноземних замовників, а також інших джерел, що не заборонені законом, згідно із Законом України «Про наукову і науково-технічну діяльність».

Потрібно розрізнювати дослідження, які проводяться для здобуття нових фундаментальних знань (часто за державні кошти), та прикладні дослідження, які спрямовані на розв'язання конкретних практичних завдань і фінансуються замовниками.

Наукові дослідження поділяються за зв'язком із суспільним виробництвом на роботи, що створюють нові процеси, машини та конструкції; роботи, спрямовані на підвищення ефективності організації виробництва без створення нових засобів праці; теоретичні дослідження в суспільних науках для вдосконалення суспільних відносин та рівня духовності.

Класифікація досліджень за тривалістю охоплює такі групи: довгострокові (від 3 років і більше), середньострокові (від 6 місяців до 3 років),

короткострокові (від 2 до 6 місяців) та експрес-дослідження (від кількох тижнів до 1–2 місяців). Ця класифікація застосовується в різних галузях, зокрема в соціології, для визначення часових рамок проведення дослідження залежно від його завдань та масштабу.

Наукові дослідження класифікуються за етапами, які містять формулювання проблеми та вибір напряму дослідження, теоретичні й експериментальні дослідження для збору даних, та узагальнення й оцінення результатів для формування висновків. Ці етапи формують загальний процес наукового пошуку, який може починатися з розроблення технічного завдання до конкретного дослідження.

Наукові дослідження, залежно від кількості науковців, поділяються на одиничні (індивідуальні) та групові (колективні). Одиничне дослідження проводиться одним науковцем, тоді як групове – командою фахівців, що дозволяє розв'язувати складніші проблеми та досягати ширших результатів.

Наукові дослідження також можна класифікувати за міждисциплінарністю як одногалузеві (одна галузь науки), комплексні (кілька споріднених галузей) та багатодисциплінарні (міжгалузеві). Загальновідома концепція «***Big Science***» стосується не стільки кількості галузей, скільки масштабу проєкту – масштабні міжнародні дослідження, що потребують значних ресурсів та великої кількості учасників, а не тільки міждисциплінарності. Прикладами слугують великі колаборації в галузях фізики елементарних частинок (наприклад, CERN), космічні дослідження, великі медичні дослідження. Отже, концепція *«Big Science*» є терміном, що описує тип наукового дослідження за масштабом та рівнем організації, тоді як «комплексні» та «багатодисциплінарні» дослідження описують його міждисциплінарний характер.

Висновки щодо основних положень наукового дослідження

Наукове дослідження є системним і цілеспрямованим процесом пізнання, спрямованим на здобуття нового, обґрунтованого й перевіреного знання про закономірності розвитку природи, суспільства та людського мислення. Його еволюція від емпіричних спостережень до складних теоретичних моделей поєднує фундаментальні й прикладні аспекти. Наукове дослідження виступає ключовою ланкою у перетворенні інформації на знання, поєднуючи пошук, розвідку, відкриття та винахід, які забезпечують науковий і технологічний прогрес. Відкриття формують нові знання про світ, тоді як винаходи забезпечують їх практичне застосування. Значення наукових досліджень полягає у забезпеченні інноваційного розвитку, підвищенні ефективності виробництва, формуванні наукового світогляду та розвитку культури. Функції науки охоплюють пізнавальну, практично-дієву, культурно-виховну та світоглядну сфери, що відображає її багатовимірний вплив на людину і суспільство. Процес наукового дослі-

дження містить етапи: формулювання проблеми, побудову гіпотез, планування, збір і аналіз даних, інтерпретацію та оприлюднення результатів. Системність, об'єктивність та верифікованість є ключовими поняттями порівняно з іншими формами здобуття знань. Класифікація наукових досліджень відображає різноманітність їхніх цілей, методів, масштабів та організаційних форм. Виділяють фундаментальні, прикладні та науково-технічні дослідження; емпіричні, теоретичні та комплексні методи; індивідуальні, групові та міждисциплінарні форми. Тому наукове дослідження є основою розвитку сучасної цивілізації, забезпечуючи не лише зростання знань, а й гармонійний розвиток суспільства, техніки, культури та людської свідомості. Його роль полягає у створенні інтелектуального потенціалу, що визначає стратегії майбутнього розвитку суспільства.

Контрольні запитання та завдання

1. Які функції виконують наукові дослідження в сучасному світі?
2. Наведіть приклади фундаментальних досліджень.
3. Наведіть приклади прикладних досліджень.
4. Яка існує різниця між винаходом та відкриттям?
5. Дайте класифікацію досліджень за масштабом: індивідуальні, групові та Big Science.
6. Чим багатодисциплінарність відрізняється від міждисциплінарності?
7. Які основні властивості концепції Big Science, зокрема щодо інфраструктури, фінансування та управління?
8. Які критерії та показники оцінення ефективності використовуються для різних типів досліджень?
9. Яким чином забезпечується інтеграція даних у великих проєктах?
10. Яка роль відкритих даних та стандартів у наукових дослідженнях?
11. Які етичні питання виникають у великих колаборація?
12. Які моделі фінансування типові у концепції Big Science?
13. Розподіліть дванадцять кейсів за типами наукових досліджень та обґрунтуйте їхню класифікацію.
14. Як здійснюється авторство та співавторство в багатотисячних наукових колективах?
15. Які моделі фінансування є типовими для проєктів у рамках концепції Big Science?

РОЗДІЛ 4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ І ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДОЛОГІЇ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Методологія як загальна система і галузь теоретичних знань та уявлень

Методологія – це галузь знань, яка вивчає методи наукового пізнання та перетворення дійсності, а також сукупність принципів і прийомів дослідження, що лежать в основі досягнення наукових результатів. Вона містить в собі теорію методів, принципи, категорії та концепції, що забезпечують всебічність отримання інформації, систематизацію знань та досягнення дослідницької мети. Методологія, як система, виступає основою для вибору відповідних методів і прийомів, що відповідають поставленим завданням.

Методологія – це сукупність фундаментальних ідей, підходів та методів, що визначають шлях наукового дослідження, забезпечують досягнення його мети та здобуття істинного знання. Вона виступає як вчення про метод (від грец. *Methodos* – шлях дослідження, *logos* – вчення), систематизуючи пізнавальні засоби, прийоми та процедури для вивчення реальних процесів і явищ.

Методологія – це не хаотичний набір методів, а впорядкована система, що складається з принципів, підходів та методів, які використовуються у науковому пізнанні. Методологія базується на найзагальніших принципах, що визначають підходи до вивчення об’єктів. Вона спрямована на досягнення мети – здобуття істинного знання, побудови наукової теорії або отримання певного ефекту від експерименту чи спостереження. Методологія визначає способи здобуття знань, скеровує дослідження, забезпечує всебічність отримання інформації, сприяє введенню нової інформації та систематизації термінів і понять.

Методологія є невід’ємною частиною наукового процесу, яка забезпечує його правильну організацію та ефективність, виступаючи як теорія методів дослідження. Завдання методології полягає в тому, щоб визначати правильні способи конструювання наукових теорій, шляхи досягнення дослідницьких цілей та забезпечувати всебічність інформації про досліджувані процеси. Це система знань про принципи, засоби та прийоми пізнання реальної дійсності, яка визначає способи здобуття наукових знань і досліджує правила мислення під час створення теорії науки. Вона охоплює як загальнонаукові, так і конкретно-наукові підходи.

Функції методології науки: описова (систематизація та пояснення знань), нормативна (встановлення правил і стандартів пізнання), критична (аналіз і оцінення наукових результатів) та прогностична (передбачення майбутнього розвитку науки).

Ці функції забезпечують системність, об’єктивність, ефективність наукового пізнання та його майбутній розвиток.

Методологія науки забезпечує об'єктивність та надійність досліджень, надаючи вченим стандартизовану систему принципів та методів для отримання достовірних знань про реальність. Вона структурує процес дослідження, визначаючи етапи та вибір найкращих методів для досягнення цілі, що дозволяє зменшити суб'єктивність, уникнути помилок і забезпечити чіткість, прозорість та повторюваність результатів, які можуть бути впроваджені в практику.

Міждисциплінарність у сучасній методології базується на використанні знань та методів із різних дисциплін для вивчення складних явищ і вирішення комплексних проблем, що виходять за рамки окремих наукових галузей.

Приклади міждисциплінарних досліджень:

- Соціоекономіка – новий напрям, що досліджує зв'язки між економічними та соціальними аспектами, поєднуючи економічні та соціальні витрати й зиски.
- Регіоналістика – міждисциплінарна наука, що вивчає процеси регіоналізації (географічної, політичної, економічної, культурної) під впливом глобалізації.

Міждисциплінарність є ключовим трендом у сучасній науковій методології, що відображає зростаючу складність світу та необхідність інтегрованих знань для його осмислення та трансформації.

Структура методології складається з основних елементів, які охоплюють принципи, парадигми, цінності, теорії, поняття, методи та прийоми. Вона є вченням про методи діяльності, їхні принципи та знання про них і може містити методологію пізнання, практичної діяльності та оцінювання (аксіометодологію). Методологічні основи дослідження, будучи відносно автономними від конкретних наук, забезпечують підґрунтя для вибору методів і прийомів.

Основні складові структури методології:

1. **Принципи** – це фундаментальні положення, на яких ґрунтується методологія та дослідження.

2. **Парадигми** – це загальноприйняті наукові погляди, які визначають, як вчені бачать світ і які методи використовують.

3. **Теорії** – це системи знань, що пояснюють певні явища, а також методологічні теорії про методи їх пізнання.

4. **Поняття** – це базові одиниці знання, які використовуються для опису та пояснення дійсності в рамках методології.

5. **Методи** – це формалізовані та систематизовані шляхи для здобуття нових знань, які можуть бути емпіричними (спостереження, експеримент, вимірювання) або теоретичними (аналіз, синтез, індукція, дедукція, моделювання, узагальнення).

4.2 Методи наукового дослідження

Метод – це шлях або система дій, прийомів та операцій, які використовуються для досягнення певної мети або вирішення конкретного завдання, як у теоретичному, так і в практичному освоєнні дійсності. Це сукупність принципів та правил, що дозволяють досліднику послідовно виконувати операції для отримання бажаного результату.

Основні характеристики методу:

1. Системність. Метод – це не хаотичний набір дій, а впорядкована система, що складається з принципів, процедур та операцій.
2. Цілеспрямованість. Метод, що спрямований на досягнення конкретної мети або вирішення певного завдання, що робить процес пізнання чи дії керованим.
3. Послідовність. Метод, який визначає чітку послідовність кроків або дій, які потрібно виконати для досягнення результату.
4. Практична та теоретична реалізація. Метод може використовуватися як для теоретичного освоєння дійсності (наприклад, побудова теорій), так і для практичного втілення (наприклад, проведення експерименту).

Приклади методів:

1. Спостереження – це цільове сприйняття предметів дійсності для збору фактів.
2. Активний експеримент – це активний і цілеспрямований вплив на об’єкт для виявлення його властивостей у створених умовах.
3. Аналіз і синтез – це розкладання цілого на частини (аналіз) та об’єднання частин у ціле (синтез) для розуміння об’єкта.
4. Порівняння – це встановлення подібності або відмінностей між явищами чи об’єктами.

Методи наукового дослідження класифікують за типом знання (емпіричні, теоретичні, комплексні), рівнем пізнання (відповідно, емпіричний, теоретичний), методологією (загальні, конкретні, специфічні) та способом організації (науковий метод, що містить спостереження, експеримент, моделювання, порівняння, вимірювання).

Методи дослідження поділяються на емпіричні (спостереження, вимірювання, експеримент) та теоретичні (аналіз, синтез, індукція, дедукція). Загальнонаукові методи (наприклад, аналіз, синтез, моделювання) застосовуються на обох рівнях, тоді як конкретно-наукові методи є специфічними для окремих наук (наприклад, методи біології чи фізики).

Емпіричні методи – це методи, що базуються на безпосередньому сприйнятті та дослідженні реальних явищ, предметів і процесів.

Спостереження – це пряме сприйняття об’єктів і процесів за допомогою органів чуття.

Експеримент – це цілеспрямоване створення умов для виявлення певних властивостей об’єктів, що досліджуються.

Вимірювання – це визначення кількісних характеристик об’єктів і процесів.

Порівняння – це встановлення подібності та відмінності між об’єктами.

Опис, класифікація, узагальнення – це систематизація та узагальнення отриманих емпіричних даних.

Теоретичні методи – це методи, спрямовані на формування уявлень, понять, законів і теорій, що використовують мисленнєві операції.

Аналіз – це розкладання об’єкта на складові частини для їх окремого вивчення.

Синтез – це з’єднання окремих частин об’єкта в єдине ціле, встановлення зв’язків між ними.

Абстрагування – це відволікання від несуттєвих властивостей об’єкта для виділення суттєвих.

Узагальнення – це перехід від окремих фактів до загальних положень.

Індукція – це перехід від окремих фактів до загальних висновків.

Дедукція – це перехід від загальних тверджень до окремих висновків.

Моделювання – це створення спрощеної моделі об’єкта або процесу для вивчення його властивостей.

Загальнонаукові методи використовуються в різних галузях науки, охоплюючи як емпіричний, так і теоретичний рівні дослідження. До загальнонаукових методів належать аналіз, синтез, індукція, дедукція, моделювання, абстрагування, системний аналіз тощо. На відміну від загальнонаукових, конкретно-наукові методи специфічні для певної науки, використовуються для вирішення конкретних дослідницьких проблем у цій галузі, наприклад, методи математики, хімії, біології, соціології.

Ознаками наукового методу є:

- Об’єктивність. Дослідження має бути вільним від особистих упереджень дослідника.
- Надійність. Результати дослідження мають бути повторюваними, тобто за повторного використання тих самих умов мають давати схожі результати.
- Валідність (обґрунтованість). Дослідження має вимірювати саме те, що воно має на меті виміряти.
- Детермінованість – припущення про те, що кожне явище має причину, і вона може бути встановлена.
- Результативність. Досягнення чітких, вимірних результатів, що сприяють розвитку знань.
- Адекватність. Методи дослідження мають відповідати поставленим завданням та суті об’єкта.

Ці ознаки допомагають забезпечити наукову достовірність та цінність отриманих знань. Поняття способу розглядається як послідовність дій для практичного застосування методу.

Детальніше поняття методу розглянуто у підрозділі 4.4 цього підручника.

4.2.1 Поняття методики

Методика – це система взаємопов'язаних та конкретних способів, прийомів, дій та процедур, які використовуються для застосування певного методу з метою досягнення конкретного результату або вирішення поставленого завдання. Простими словами, якщо метод – це загальний план дій, то методика – це детальна інструкція, як саме цей план виконати на практиці.

Ключові аспекти поняття «методика»:

1. Систематизованість. Методика являє собою не випадковий набір дій, а організовану сукупність, що має свою логіку та структуру.
2. Прив'язка до методу. Методика завжди пов'язана з конкретним методом, уточнюючи та конкретизуючи його практичне застосування.
3. Практична спрямованість. Визначення послідовності кроків, які необхідно зробити для виконання роботи чи дослідження.
4. Досягнення результату. Головна мета методики – привести до певного, заздалегідь визначеного результату.
5. Конкретність. Методика складається з конкретних, практично застосовних прийомів та процедур.

Приклад. Метод – вимірювання. Методика – послідовність дій, що містить вибір вимірювального інструменту, його правильне встановлення, зчитування показників, фіксацію результату, а також правила обробки отриманих даних для отримання точного вимірювання. Отже, методика є практичним втіленням загального методу, надаючи чіткі рекомендації щодо його виконання та забезпечуючи досягнення поставленої мети.

Структура наукової методики охоплює такі ключові компоненти: мета (що необхідно досягти), завдання (конкретні кроки для досягнення мети), об'єкт (те, що досліджується), предмет (конкретні аспекти об'єкта), методи (способи збору даних), інструменти (засоби реалізації методів), процедури (послідовність дій) та критерії оцінювання (ознаки для оцінки результатів).

1. Мета – це загальне спрямування дослідження, що вказує на те, що саме ми прагнемо дізнатися або досягти. Приклад. Метою педагогічної методики є підвищення ефективності навчання учнів.
2. Завдання – це конкретні, вимірні дії, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети. Приклад: для досягнення мети можуть бути поставлені завдання – розробити нові навчальні матеріали, провести експеримент з їх застосуванням, проаналізувати результати тощо.
3. Об'єкт дослідження – це те, стосовно чого проводиться дослідження, тобто процес, явище, стан, властивість, група людей тощо. Приклад: об'єктом може бути навчальний процес у певній школі.
4. Предмет дослідження – це конкретний аспект або властивість об'єкта, який безпосередньо вивчається в рамках методики. Приклад: предметом може бути ефективність застосування конкретних методів навчання в цьому навчальному процесі.

5. Методи дослідження – це сукупність способів, прийомів і операцій, за допомогою яких збираються та аналізуються дані. Приклад: теоретичні методи (аналіз, синтез) та емпіричні методи (спостереження, експеримент, опитування).

6. Інструменти – це конкретні пристрої, засоби, прилади, програми чи бланки, які використовуються для реалізації методів збору даних. Приклад: анкети, тести, педагогічні спостереження, комп'ютерні програми для аналізу даних.

7. Процедура або порядок проведення дослідження – це послідовність етапів і дій, що виконуються під час реалізації методики. Приклад: підготовка інструментів, проведення експерименту, фіксація даних, їх обробка та аналіз.

8. Критерії оцінювання результатів – це сукупність ознак, за якими визначається ефективність досягнення мети дослідження та якість отриманих даних. Приклад: показники успішності учнів, рівень їхньої мотивації, динаміка результатів порівняно з контрольною групою.

Вимоги до методики – це її ключові характеристики, серед яких адаптивність (здатність пристосовуватися до змін умов дослідження), відтворюваність результатів (можливість отримати ті самі результати під час повторного застосування) та ефективність (здатність досягати поставлених цілей з мінімальними витратами ресурсів). Ці вимоги забезпечують надійність, об'єктивність та практичну цінність наукових досліджень.

Приклади адаптивності методики – це внесення коректив до процедури опитування, якщо виявлено нерозуміння запитань респондентами, або використання різних інструментів для збору інформації залежно від ситуації.

Умова відтворюваності результатів – це детальне описування всіх етапів дослідження, умов його проведення та використовуваних інструментів, щоб будь-який інший дослідник міг повторити процес і отримати схожі результати.

Для досягнення ефективності необхідно застосування найоптимальніших методів збору та аналізу даних для отримання найнадійнішої інформації за мінімальних витрат, що узгоджується з метою дослідження.

Ці вимоги не є ізольованими. Наприклад, ефективна методика часто має бути адаптивною, щоб долати перешкоди, які можуть виникнути, а відтворюваність є ключовим елементом, що підтверджує ефективність та надійність методу.

4.2.2 Інформаційні технології

Інформаційні технології (ІТ) – це сукупність методів, способів і засобів, зокрема комп'ютерної техніки, програмного забезпечення та мереж, які використовуються для збирання, зберігання, обробки, передачі та поширення інформації. Інформаційні технології забезпечують розв'язання

прикладних завдань шляхом обробки даних та є невід'ємною частиною сучасного виробництва, науки, культури та економіки.

Ключові завдання ІТ: збір та зберігання інформації – за допомогою комп'ютерів та інших пристроїв; обробка інформації – комп'ютерні технології дозволяють автоматично виконувати складні обчислення та обробляти великі обсяги даних, передача та поширення інформації – мережеві технології, такі як інтернет, забезпечують швидкий обмін інформацією, незалежно від її місцезнаходження; застосування – ІТ використовуються в роботі, навчанні, наукових дослідженнях, розвагах та для створення інтелектуальних систем, як-от «розумний дім».

Інформаційні технології допомагають автоматизувати процеси, що веде до підвищення продуктивності та ефективності в багатьох сферах. Технології надають швидкий доступ до великих обсягів інформації, спрощуючи пошук та аналіз даних, що дозволило кардинально змінити способи спілкування, зробивши можливим миттєвий обмін інформацією через електронну пошту та месенджери.

4.2.3 Метод, спосіб, методика та технологія: спільність і відмінність

Спільне

Усі терміни стосуються шляхів і засобів досягнення мети, особливо в контексті дослідження чи діяльності. Вони описують, як саме виконується робота, надаючи конкретні інструменти та підходи.

Відмінне

1. Метод – це загальний шлях для досягнення мети, що відповідає на запитання «Як пізнавати?». Це більш абстрактне поняття, що може містити різноманітні інструменти для досягнення мети.

2. Спосіб – це найближчий синонім методу, що підкреслює конкретність дії чи підходу. Він описує процес і формалізує виконання певної дії чи послідовності дій.

3. Методика – це сукупність конкретних методів, прийомів та інструкцій для проведення певної роботи. Методика організовує методи у певну систему, надаючи детальні правила та послідовність дій для досягнення мети.

4. Технологія (конкретно, інформаційна технологія) передбачає, у додаток до методики, використання теоретичних та практичних результатів, наявність розвинутих комп'ютерних та інформаційних засобів для досягнення мети розробки чи дослідження.

4.2.4 Системний та аксіологічний підходи

Системний підхід – це загальнонауковий метод дослідження, що полягає у розгляді об'єктів як цілісних систем, які складаються з взаємопов'язаних елементів, мають структуру, функції, підсистеми та зв'язки із

зовнішнім середовищем. Основні вимоги до його використання – цілісне сприйняття досліджуваного об'єкта, вивчення внутрішніх зв'язків між його частинами, а також зовнішніх зв'язків з іншими системами.

Системний підхід базується на ідеї, що будь-який об'єкт можна розглядати як систему – цілісну множину елементів, які перебувають у певних зв'язках та взаємодіють між собою. Ключовими аспектами є цілісність (система є єдиним цілим, а не сумою окремих частин, завдяки чому вона має інтегральний результат, що відрізняє її від окремих елементів) наявність певної структури (зв'язків та взаємозв'язків між елементами та підсистемами), система не ізольована, а перебуває у зв'язку з іншими системами та середовищем, що впливає на неї і навпаки.

Системний аналіз – це науковий підхід і метод пізнання, що дозволяє комплексно досліджувати та оптимізувати складні системи різної природи (технічні, природні, соціальні, бізнесові) шляхом виявлення взаємозв'язків між їхніми елементами. Він містить аналіз, моделювання, прогнозування та прийняття рішень на основі великих обсягів даних, використовуючи методи теорії дослідження операцій, математичного моделювання та інформаційних технологій.

Аксіологічний підхід в науці досліджує цінності, що лежать в основі наукового знання, наукової діяльності та науковця як особистості. Він аналізує, що робить науку ціннісною (наприклад, істина, користь), які норми та принципи визначають наукову діяльність (сумлінність, об'єктивність) та які цінності (знання, чесність, творчість) є ключовими для вченого.

4.3 Наукове пізнання та його ознаки

Наукове пізнання – це цілеспрямований процес отримання об'єктивних, систематизованих знань про дійсність, що відрізняється від інших форм пізнання строгою доказовістю, обґрунтованістю, системністю, орієнтацією на прогнозування та можливістю перевірки результатів. Основними ознаками є: об'єктивність, доказовість, системність, націленість на істину та передбачення, використання специфічних методів і засобів, а також зв'язок із практикою і суспільними потребами.

Ознаки наукового пізнання:

- Об'єктивність. Наукові знання мають бути незалежними від суб'єкта пізнання, тобто від особистих поглядів, емоцій та інтересів дослідника.
- Доказовість. Результати наукового пізнання мають бути підкріплені строгими доказами, логічними висновками і перевіркою на основі спостережень та експериментів.
- Системність. Наукові знання структурують у вигляді логічно взаємопов'язаних систем – понять, теорій, гіпотез, законів.
- Націленість на істину та передбачення. Метою наукового пізнання є досягнення об'єктивної істини, а також формування знань, що дозволяють передбачати майбутні явища та перетворювати дійсність.

– Використання специфічних методів і засобів. Наука послуговується спеціалізованими матеріальними (прилади) та ідеальними (логіка, математика) засобами для отримання й систематизації знань.

– Зв'язок із практикою. Наукове пізнання розвивається на основі суспільної практики та створює нові знання, які згодом втілюються в практичній діяльності.

– Наступність. Кожне нове наукове дослідження спирається на попередні здобутки, а також передбачає перспективи подальшого розвитку знань.

– Новизна. Наукове пізнання спрямоване на відкриття нового, встановлення нових фактів та розробку принципово нових підходів і технологій.

Рівні наукового пізнання – емпіричний та теоретичний. Емпіричний рівень отримується завдяки безпосередньому досвіду, спостереженням та експериментам. Це рівень фактів, даних, які піддаються раціональній обробці. Теоретичний рівень містить логічне узагальнення емпіричних даних, формування понять, суджень, гіпотез та побудову наукових теорій.

Форми наукового пізнання:

1. Факт – це констатація реальних явищ і подій.
2. Проблема – питання, яке потребує розв'язання за допомогою наукових методів.
3. Гіпотеза – наукове припущення, яке пояснює певні явища і потребує перевірки.
4. Теорія – логічно впорядкована система знань, що пояснює закономірності дійсності.

Компоненти наукового пізнання містять мету пізнання (вона має бути спрямована на досягнення певного якісного результату), об'єкт (процес або явище, власне кажучи, те, на що спрямоване пізнання) та предмет пізнання (його певні аспекти, що досліджуються). Також важливими компонентами є методи та засоби (наукові методи: спостереження, експеримент, моделювання), логічні форми та мовні засоби (поняття, гіпотези, теорії) і результати пізнання (нові знання, теорії, практичні рішення).

Принципи наукового пізнання – це основні правила та засади, які керують процесом наукового дослідження та формують його основу. До таких принципів належать: об'єктивність, незалежність результатів від суб'єктивних впливів; принцип пояснення множини явищ небагатьма уявленнями, що полягає у прагненні до універсальності та простоти пояснень; достатня повнота обґрунтування, яка потребує наявності достатніх доказів для висновків; системність, що розглядає об'єкт як єдине ціле із взаємопов'язаними елементами; єдність аналізу та синтезу, що поєднує розкладання об'єкта на частини та об'єднання цих частин у нове ціле; єдність історичного та логічного підходів до вивчення розвитку об'єктів і сходження від абстрактного до конкретного, що дозволяє перейти від загальних понять до конкретного образу об'єкта.

Розглянемо основні принципи докладніше.

1. *Принцип об'єктивності*.

Наукове знання має бути вільним від упереджень, особистих уподобань та емоцій дослідника. Результати дослідження мають відповідати реальному стану речей, незалежно від того, наскільки вони можуть бути неприємними або несподіваними.

2. *Принцип пояснення множини досліджуваних явищ за допомогою небагатьох загальних уявлень*.

Цей принцип, також відомий як принцип економії думки або «бритви Оккама», передбачає, що з кількох можливих пояснень потрібно вибирати те, яке є найпростішим і використовує найменшу кількість припущень, проте достатньо точно пояснює всі спостережувані факти.

3. *Принцип достатньої повноти обґрунтування*.

Будь-яке наукове твердження, гіпотеза чи теорія має бути достатньо обґрунтоване переконливими доказами, фактами та логічними аргументами. Самого твердження недостатньо – воно має бути логічно доведене та підтверджене фактами.

4. *Принцип системності*.

Об'єкти пізнання потрібно розглядати як системи, тобто як сукупність взаємопов'язаних елементів, які утворюють певне ціле. Важливо розуміти взаємозв'язки між цими елементами та їхній вплив на загальне функціонування системи.

5. *Принцип єдності аналізу та синтезу*.

Аналіз – це розкладання об'єкта на складові частини для глибшого розуміння його структури. Синтез – це об'єднання цих частин у нове, більш складне ціле, що дозволяє виявити зв'язки та закономірності, які не були очевидні на рівні окремих частин.

6. *Принцип єдності історичного й логічного*.

Історичний принцип вивчає розвиток об'єкта в часі, його еволюцію та зміну форм. Логічний принцип розкриває внутрішні закономірності цього розвитку, його закони та причинно-наслідкові зв'язки. Єдність цих принципів дає змогу зрозуміти не лише те, як розвивався об'єкт, а й чому він розвивався саме так.

7. *Принцип сходження від абстрактного до конкретного*.

Пізнання починається з абстрактних понять, що відображають найзагальніші властивості об'єкта. Потім ці абстракції використовуються для формування конкретного, багатого на деталі образу об'єкта в свідомості дослідника.

Рівні наукового пізнання – це два взаємопов'язані рівні: емпіричний і теоретичний. Емпіричний рівень ґрунтується на досвіді та спостереженні, фіксуючи факти й явища, тоді як теоретичний рівень використовує логічне мислення для формування гіпотез, теорій і загальних закономірностей, пояснюючи та систематизуючи емпіричні дані.

Емпіричний рівень наукового пізнання – це стадія дослідження, що ґрунтується на досвіді, який містить спостереження та експерименти. На

цьому рівні збираються факти, проводиться їх первинне узагальнення, систематизація та класифікація. Основні методи – спостереження, вимірювання, експеримент, аналіз. Цей рівень спрямований на дослідження окремих явищ та властивостей об'єктів, що дає систему наукових фактів.

Теоретичний рівень спрямований на дослідження суті об'єктів, процесів та відношень і базується на раціональному мисленні. Методи його реалізації: аналіз, синтез, індукція, дедукція, формалізація, аксіоматизація, гіпотетико-дедуктивний метод. Результат: ідеї, гіпотези, теорії, які пояснюють і систематизують емпіричні дані.

Емпіричні дані є основою для формулювання теоретичних положень. Теоретичні засади необхідні для планування та проведення емпіричних досліджень. Теоретичні знання вписують емпіричні дані в систему, надаючи їм пояснення та глибини.

Дослідницькі операції – це ключові елементи емпіричного рівня наукового пізнання, який полягає в отриманні знань про світ через безпосередній досвід, чуттєве сприйняття та експериментальну діяльність. Ці операції містять спостереження за об'єктами (систематичне сприйняття реальних явищ для отримання первинної інформації), фіксацію фактів (запис та документування спостережуваних подій та явищ для подальшого аналізу), проведення експериментів, встановлення емпіричних співвідношень і зв'язків та аналіз зібраних даних (фактів) для пошуку залежностей між явищами, які спостерігаються. Таким чином, ці операції разом формують основу для формування емпіричних знань, які ґрунтуються на конкретних даних та досвіді.

Емпіричне знання зосереджене на чуттєвому досвіді та вивченні об'єкта з боку його зовнішніх, видимих зв'язків, а не глибинної суті. Його основна функція – опис явищ через спостереження, вимірювання та експеримент, що призводить до накопичення фактів та емпіричних узагальнень. Пізнання об'єкта з боку зовнішніх зв'язків полягає у з'ясуванні того, як він взаємодіє з іншими об'єктами чи явищами, що створює основу для подальшого, глибшого, теоретичного аналізу.

4.3.1 Поняття наукового факту

Науковий факт – це відображене у свідомості науковця реальне явище або подія дійсності, яке було перевірено, осмислено та зафіксовано мовою науки як емпіричне судження. Факти дійсності – це все, що існує в реальному світі, незалежно від нашого усвідомлення чи наукового дослідження. Факти науки – це лише частина цих фактів дійсності, яка була науково вивчена, підтверджена та інтегрована до системи наукового знання, формуючи основу для висновків, теорій та законів.

Факти дійсності та факти науки розрізняються між собою. Факти дійсності – це будь-що, що існує або відбулося в реальному світі, як-от існування Києва як столиці України чи замерзання води за 0 °C, і які можуть

бути перевірені. Наукові факти – це та частина фактів дійсності, яка була досліджена, перевірена та визнана науковою спільнотою. Наприклад, закон всесвітнього тяжіння є фактом науки, який описує об'єктивну властивість дійсності. Ключова відмінність полягає в тому, що факт дійсності – це об'єктивна реальність, а науковий факт – це її науково задокументоване та перевірене відображення. Не кожен факт дійсності стає науковим фактом – лише той, що пройшов процес наукового дослідження.

Науковий факт – це достовірне знання про подію, явище чи процес, отримане шляхом спостережень та експериментів, яке неодноразово підтверджене і є об'єктивним віддзеркаленням реальності. Це емпіричне судження, яке відображає властивості об'єктів дійсності і використовується для виявлення закономірностей, побудови теорій та законів, а також може бути переглянуте в ході розвитку науки.

Факти є фундаментом наукового пізнання, слугуючи основою для формування наукових гіпотез, які пояснюють спостережувані явища, та подальшого створення цілісних наукових теорій, у випадку підтвердження гіпотези. Фактичний матеріал має вирішальне значення для перевірки істинності гіпотез та теорій, будучи критерієм їх підтвердження або спростування шляхом зіставлення з реальністю.

Наукове пізнання починається зі спостереження та збору фактів, що стосуються певного явища або процесу. На основі зібраних фактів вчені шукають зв'язки, повторюваності та закономірності, що дає змогу перейти від окремих спостережень до загальних висновків. Знайдені закономірності формують основу гіпотез – припущень, що пояснюють виявлені факти та передбачають нові явища. Якщо гіпотеза витримує перевірку і підтверджується новою сукупністю фактів, вона може стати частиною наукової теорії – найвищої форми наукового знання, що дає цілісне пояснення дійсності. Факти є найважливішим критерієм істинності будь-якої наукової гіпотези чи теорії. Наукові гіпотези та теорії перевіряються шляхом зіставлення їхніх передбачень із реальними фактами, отриманими внаслідок експериментів або спостережень. Якщо факти збігаються з передбаченнями гіпотези або теорії, це свідчить про її підтвердження. Натомість якщо виявляються факти, які суперечать їм, гіпотезу або теорію доводиться переглядати або відкидати. Таким чином, факти є динамічним компонентом наукового пізнання, що забезпечує його зв'язок із реальним світом і постійний розвиток знань.

Проблеми в науці виникають під час спостереження фактів, які потребують пояснення, а наукові гіпотези є обґрунтованими припущеннями для такого пояснення. Ці гіпотези перетворюються на закони, принципи та теорії, коли їх підтверджують численні експерименти та спостереження, що виявляють закономірності об'єктивної реальності та її розвиток.

Науковий закон – це виявлена закономірність у природі, яка має чітке формулювання.

Науковий принцип – це вихідне положення, яке пояснює механізми функціонування певного об'єкта або явища.

Наукова теорія – це система знань, що пояснює велику кількість явищ і процесів, яка базується на багаторазових перевірках гіпотез та законів.

Гіпотеза – це формулювання наукового припущення, яке потім може бути перевірено за допомогою емпіричних методів, а результати аналізуються теоретично.

Наукове моделювання – це створення уявних або матеріальних моделей, які можуть бути використані для експериментів та подальшого теоретичного осмислення.

Таким чином, наукове пізнання є процесом переходу від спостереження проблем і висунення гіпотез до перевірки та, у разі успіху, до формування законів, принципів і теорій, що пояснюють явища навколишнього світу.

4.3.2 Специфіка теоретичного знання

Специфіка теоретичного знання полягає в тому, що воно оперує загальними, універсальними та закономірними зв'язками, а не індивідуальними фактами і містить поняття, закони, теорії та ідеальні об'єкти. Теоретичне знання будується на основі раціональної обробки емпіричних даних, а його головним завданням є пояснення, опис і систематизація реальних явищ шляхом побудови цілісних наукових систем.

Ключові аспекти теоретичного знання:

1. Вищий рівень пізнання. Теоретичне знання є раціональним рівнем пізнання, що розвивається з емпіричного, який базується на чуттєвому досвіді.

2. Загальність і універсальність. Воно відображає не окремі факти, а універсальні, істотні зв'язки та закономірності, що діють в об'єктивній реальності.

3. Оперування ідеальними об'єктами. Для пояснення реальності теорія використовує ідеальні, абстрактні об'єкти, які мають обмежену кількість властивостей, на відміну від безкінечної кількості властивостей реальних об'єктів.

4. Логічна система. Теоретичне знання формується як логічно зв'язана система понять, законів і принципів.

5. Об'єктивність та істинність. Основною метою теоретичного знання є отримання об'єктивних і достовірних знань про світ.

6. Прогностична функція. Теоретичне знання орієнтоване на передбачення та розробку гіпотез, які потім перевіряються на практиці.

Описана діяльність є суттю наукового пізнання на теоретичному рівні. Це процес, який передбачає створення систем знань і теорій, які розкривають загальні зв'язки та формулюють закони, а також систематизацію об'єктів дослідження на основі раціонального аналізу їхніх внутрішніх зв'язків і закономірностей явищ.

4.3.3 Поняття наукової теорії

Наукова теорія – це найбільш розвинена форма наукового знання, яка являє собою систему логічно взаємопов'язаних уявлень, законів і фактів, що цілісно описують, пояснюють та передбачають явища певної предметної галузі. Вона відрізняється від гіпотези тим, що є добре обґрунтованим, систематичним і доведеним знанням, яке спирається на велику кількість емпіричних доказів та підтверджень, а також має статус загальноприйнятого в науковому співтоваристві.

Основні характеристики наукової теорії:

1. Систематичність. Теорія є не набором розрізнених фактів, а цілісною системою, де всі елементи пов'язані між собою певними логічними та змістовними відношеннями.

2. Логічна обґрунтованість. Положення теорії виводяться з вихідних аксіом, законів і принципів за допомогою логічних правил, що забезпечує її внутрішню узгодженість.

3. Предметність. Теорія описує конкретний аспект реальності або об'єкт дослідження.

4. Пояснювальна сила. Теорія не лише описує, але й пояснює явища, розкриваючи їх закономірності та суттєві зв'язки.

5. Прогнозувальна здатність. Важливою функцією теорії є передбачення нових, раніше невідомих явищ або фактів.

6. Практична пов'язаність. Теорія нерозривно пов'язана з практикою, яка ставить перед пізнанням завдання, що потребують вирішення, і в той самий час є джерелом для її розвитку.

Структура наукової теорії:

1. Емпіричний базис. Містить основні факти та результати їхньої первинної обробки.

2. Теоретичний базис. Містить аксіоми, постулати, фундаментальні закони та принципи, які є вихідними положеннями теорії.

3. Логічний апарат. Містить правила виведення вторинних понять, законів та тверджень із вихідних положень.

4. Виведені наслідки. Потенційно допустимі наслідки, теореми та інші твердження, що логічно випливають із основ теорії.

Теорія є найбільш розвиненою формою наукового пізнання, оскільки вона являє собою вищий ступінь узагальнення та систематизації знань, що дає цілісне розуміння закономірних зв'язків та внутрішньої структури об'єктивної реальності. Вона інтегрує емпіричний досвід і надає загальний, необхідний характер науковому знанню, виходячи за межі простого опису явищ і розкриваючи їхню суть та внутрішні механізми.

Теорія є вершиною пізнавального процесу, що стоїть над емпіричним рівнем (де відбувається безпосереднє спостереження та збір даних) і формує більш глибоке, інтелектуальне розуміння світу.

Приклади: теорія будови речовини, теорія відносності, теорія еволюції, теорія гравітації, теорія автоматичного управління.

Ці теорії є не просто сукупністю фактів, а логічно організованими системами знань, що пояснюють складні явища та прогнозують майбутні події, підтверджуючи свій статус найбільш розвиненої форми наукового пізнання.

Теорія розглядається у філософії науки як система узагальнених знань, що охоплюють поняття, категорії, закони, принципи та концепції, які відображають певну сферу дійсності. Це комплекс взаємопов'язаних ідей та тверджень, що слугує для пояснення та розуміння певних явищ.

Основні елементи теорії:

1. Поняття та категорії. Фундаментальні основи, що структурують знання про об'єкт дослідження.

2. Закони та принципи. Загальні правила та закономірності, які визначають зв'язки між явищами.

3. Концепції. Головні ідеї, що лежать в основі розуміння об'єкта та визначають його суть.

4. Узагальнення. Процес узагальнення спостережень і фактів для виявлення суттєвих зв'язків.

Роль теорії полягає у систематизації знань, тобто об'єднанні розрізнених фактів та ідей в єдину логічну систему; поясненні явищ; передбаченні майбутніх подій та отриманні нових знань. Теорія допомагає зрозуміти причини та механізми функціонування об'єктів реальності.

4.4 Методи наукових досліджень

Методи наукових досліджень – це сукупність прийомів, підходів, моделей для отримання нових знань, перевірки гіпотез та вирішення дослідницьких завдань, які поділяються на загальнонаукові та спеціальні, а також на емпіричні (спостереження, експеримент, вимірювання) і теоретичні (аналіз, синтез, індукція, дедукція, моделювання). Вибір методу залежить від конкретної галузі науки та етапу дослідження.

Загальна класифікація методів: загальнонаукові методи, які застосовуються у всіх галузях науки (спостереження, індукція і дедукція, моделювання, тощо); спеціальні методи, що використовуються лише в конкретній галузі науки (наприклад, методи статистичної обробки даних у соціології чи методи фізичних досліджень у фізиці).

Приклади застосування методів

– У фізиці: поєднуються теоретичні та експериментальні методи для формування та підтвердження теорій.

– У психології: використовується спостереження для вивчення поведінки та психічних процесів людей.

– У журналістиці: можуть застосовуватися як кількісні (статистичні), так і якісні методи для аналізу суспільних процесів.

Метод наукових досліджень – це система логічних прийомів, принципів і процедур, що забезпечує досягнення певних цілей шляхом отримання

об’єктивних, верифікованих знань. Він охоплює етапи від формування ідеї та гіпотези до проведення експериментів, узагальнення результатів та їх оформлення, застосовуючи як емпіричні (спостереження, експеримент), так і теоретичні (аналіз, синтез) методи.

Ключові аспекти методу наукових досліджень:

1. Об’єктивність. Результати дослідження мають бути позбавлені суб’єктивних упереджень, а отримані дані мають допускати перевірку (верифікацію) іншими дослідниками.

2. Системність. Методи реалізуються в послідовній, логічній структурі дій, яка узгоджується з метою та завданнями дослідження.

3. Ефективність. Забезпечує досягнення конкретних наукових цілей шляхом вибору найбільш відповідних і доцільних способів отримання знань.

Основні етапи наукового дослідження та методи:

1. Виникнення ідеї та формування теми. Визначення сфери наукового інтересу.

2. Постановка мети та завдань. Чітке формулювання того, що саме буде досягнуто внаслідок дослідження.

3. Висунення гіпотези. Створення наукового припущення для подальшої перевірки.

4. Теоретичні дослідження. Опрацювання наявних знань, їх аналіз і синтез для формування теоретичної бази.

5. Емпіричні дослідження. Безпосереднє збирання даних за допомогою методів, таких як:

- спостереження. Цілеспрямоване сприйняття явищ дійсності.
- експеримент. Перевірка гіпотези в контрольованих умовах.
- вимірювання. Кількісне визначення властивостей об’єктів.

6. Узагальнення та аналіз результатів. Інтерпретація отриманих фактів і даних.

7. Оформлення результатів. Структуроване подання досягнутих знань у вигляді наукових робіт.

Типи методів наукового дослідження:

1. Емпіричні методи. Використовуються для збору первинної інформації про об’єкти реальності (спостереження, експеримент).

2. Теоретичні методи. Застосовуються для обробки та осмислення зібраних даних (аналіз, синтез, індукція, дедукція).

Метод наукових досліджень – це багатогранне поняття, яке можна розглядати як:

– засіб отримання наукового знання через використання принципів, правил і прийомів для вивчення реальності;

– спосіб організації пізнавальних процедур шляхом послідовних дій, спрямованих на досягнення мети;

– систему пізнавальних прийомів – конкретних інструментів (спостереження, експеримент, аналіз, синтез, індукція, дедукція), що забезпечують збір, обробку та систематизацію інформації.

Функції методу наукових досліджень містять регулювання пізнавальної діяльності, забезпечення всебічності та достовірності отриманої інформації, систематизацію та обробку даних, здійснення конкретних кроків для досягнення мети дослідження, а також отримання нового наукового знання та його практичне застосування.

Основні функції методу наукових досліджень:

1. Регулятивна функція. Метод виступає як регулятор науково-пізнавальної діяльності, визначаючи шляхи та способи досягнення мети дослідження. Він задає алгоритм дій для отримання нових знань.

2. Інформаційна функція. Метод забезпечує всебічне, об'єктивне та ґрунтовне вивчення об'єктів дослідження, що дозволяє отримати достовірну інформацію про процеси, явища та їх взаємозв'язки.

3. Систематизувальна функція. Методи допомагають уточнювати, збагачувати та систематизувати наукові терміни й поняття, а також вводити нову інформацію у науковий обіг.

4. Прикладна функція. Метод дозволяє отримати корисні для практики результати, які потім можуть бути впроваджені у виробництво для підвищення його ефективності.

5. Операційна функція. Метод надає інструменти для втілення конкретних кроків наукового дослідження, таких як спостереження, експеримент, аналіз, синтез, моделювання, а також для формування та перевірки гіпотез.

6. Пізнавальна функція. Загалом, функція методу полягає в забезпеченні процесу пізнання, який дозволяє отримати нове наукове знання про світ.

Результати наукового дослідження безпосередньо залежать від вибраного методу, оскільки метод визначає, як саме будуть збиратися, аналізуватися та інтерпретуватися дані. Різні методи дають різний тип знань: емпіричні методи (спостереження, експеримент) дозволяють вивчати фактичні явища та причино-наслідкові зв'язки, тоді як теоретичні методи (аналіз, синтез, моделювання) допомагають виявляти закономірності та формувати теоретичні результати.

Вибір методу визначає, який тип даних буде отриманий. Наприклад, спостереження фіксує явища, тоді як експеримент дає змогу перевіряти гіпотези шляхом контрольованих змін. Емпіричні методи дають конкретні, фактичні дані, а теоретичні дозволяють узагальнювати їх до рівня закономірностей. Експеримент може виявити причинно-наслідкові зв'язки, які неможливо отримати лише шляхом спостереження. Теоретичні результати (уточнення термінології, виявлення властивостей) відрізняються від прикладних (нові матеріали, технології), і обидва види досягаються відповідними методами.

Наприклад, метод спостереження дозволяє побачити ці властивості, а метод вимірювання – кількісно їх визначити. Експеримент, що передбачає маніпулювання змінними, може підтвердити або спростувати гіпотезу, що неможливо зробити за допомогою лише аналітичних методів. Ме-

тоди аналізу, синтезу, індукції та дедукції дозволяють узагальнити емпіричні дані та побудувати теоретичну модель.

Отже, правильний вибір методу, узгодженого з метою і завданнями дослідження, є ключовим для отримання достовірних і релевантних результатів.

4.4.1 Об'єктивність і суб'єктивність у виборі методів дослідження

Об'єктивність у виборі методів наукового дослідження означає відповідність вибраних методів об'єктивній суті досліджуваного явища, у той час як суб'єктивність полягає в тому, що вибір методів може бути зумовлений особистістю дослідника, його цінностями, досвідом та упередженнями. Наукова об'єктивність прагне до уникнення або мінімізації впливу суб'єктивних факторів на процес дослідження, забезпечуючи достовірність та валідність результатів.

Методи мають відповідати меті та завданням дослідження, а також специфіці об'єкта та предмета дослідження. У науковій спільноті існують перевірені та загальноприйняті методи, які вважаються найбільш надійними для певних типів досліджень. Об'єктивні методи дозволяють іншим дослідникам повторити експеримент або аналіз, що сприяє верифікації результатів. Мета – вибрати методи, які мінімізують вплив особистих переконань, емоцій чи очікувань дослідника на процес отримання даних. Дослідник може надавати перевагу тим методам, з якими він знайомий і має досвід, що може обмежувати вибір більш ефективних, але менш знайомих інструментів. Особисті цінності, політичні погляди чи ідеологічні переконання дослідника можуть впливати на вибір методів, особливо в соціальних та гуманітарних науках. Навіть за об'єктивного збору даних, інтерпретація результатів може бути суб'єктивною, що впливає на кінцевий висновок про застосовані методи. Обставини дослідження (наприклад, фінансові обмеження, часові рамки) можуть спонукати дослідника до вибору певних методів, які є більш доступними, а не найбільш об'єктивними.

Добре сформульовані цілі та завдання дослідження допомагають вибрати методи, що найбільш точно відповідають предмету вивчення. Дослідник має постійно аналізувати свої мотиви та можливі упередження, ставлячи під сумнів свій вибір методів. Обговорення методології з іншими фахівцями допомагає виявити потенційні суб'єктивні фактори. Поєднання різних підходів (наприклад, кількісних та якісних) може зменшити вплив суб'єктивності одного методу, роблячи результати більш надійними.

Методологічний негативізм – це позиція, яка стверджує, що неможливо встановити жодних універсальних і обов'язкових методів пізнання, а будь-які спроби їх формалізувати ведуть до обмеження наукового прогресу. Методологічний анархізм – це радикальніший погляд, який стверджує, що для

досягнення наукового успіху вченим потрібно нехтувати будь-якими строгими методологічними правилами, а саме – застосовувати принцип «усе дозволено» (англ. *anything goes*). Методологічна ейфорія – це стан переконаності в ефективності певної методології, який може призвести до її надмірного використання та ігнорування альтернативних підходів.

Результати наукового дослідження безпосередньо залежать від вибраних наукових методів, оскільки методи визначають, яку інформацію буде зібрано, як її буде проаналізовано та як буде подано. Відповідно, різні методи можуть призвести до різних висновків, навіть у межах одного дослідження, що робить вибір методології критично важливим для отримання нових наукових знань.

Методи, такі як спостереження чи експеримент, визначають, які дані будуть зібрані та які явища будуть вивчатися. Різні методи, наприклад, аналіз, синтез, індукція або дедукція, впливають на те, як дані будуть оброблені та які закономірності будуть виявлені. Теоретичні результати (визначення термінології, виявлення властивостей) та практичні результати (створення нових технологій, пропозиції) формуються під впливом специфічних методів. Правильний вибір методології, яка відповідає цілям дослідження, забезпечує логічне та аргументоване формулювання висновків.

Таким чином, зумовленість результатів вибраними методами є фундаментальним принципом наукового дослідження, що підкреслює необхідність ретельного планування та обґрунтування методологічної частини дослідження.

4.4.2 Спостереження як метод наукового дослідження

Спостереження – це метод наукового дослідження, що полягає в безпосередньому, цілеспрямованому та систематичному сприйнятті та фіксації об’єктів і явищ для отримання наукових даних. Основні вимоги до спостереження містять об’єктивність, систематичність, цілеспрямованість та фіксацію результатів, а перевагами є безпосередність сприйняття та можливість вивчення в природних умовах, тоді як недоліками – суб’єктивність, складність контролю та вплив спостерігача.

Основні вимоги до спостереження:

1. Об’єктивність. Дослідник має уникати суб’єктивності, щоб спостереження було неупередженим і точним.
2. Систематичність. Спостереження має бути організованим і проводитися за заздалегідь визначеним планом.
3. Цілеспрямованість. Спостереження має бути спрямоване на конкретний об’єкт чи явище з чітко визначеною метою.
4. Повнота фіксації. Необхідно ретельно реєструвати усі важливі дані, щоб уникнути пропусків або спотворень.
5. Використання допоміжних засобів. Для об’єктивної фіксації можуть застосовуватися щоденники спостережень, фото- та відеозйомка.

Переваги методу спостереження: дозволяє отримати пряму інформацію про явище в його природному середовищі, дає можливість вивчати явища в процесі їх розвитку та взаємодії, дозволяє одночасно охопити поведінку декількох осіб або складність події, дає можливість проводити спостереження незалежно від готовності об'єктів дослідження.

Недоліки методу спостереження: спостерігач може ненавмисно інтерпретувати факти під впливом власних переконань; сам факт його присутності здатний змінювати поведінку об'єктів (ефект Готорна); важко забезпечити повний контроль умов для досягнення об'єктивності; фіксація всіх аспектів явища часто є складною та потребує значних часових витрат.

4.4.3 Метод порівняння

Метод порівняння – це процес зіставлення двох або більше об'єктів, явищ чи показників для виявлення спільних і відмінних рис, що дає змогу отримати нові знання про них. Основними вимогами до порівняння є наявність спільної основи для зіставлення та вибір достатньої кількості об'єктів. Завдання методу полягає у визначенні унікальних характеристик об'єктів, оціненні їхньої схожості або відмінності, а також виявленні тенденцій розвитку. Існують різні види порівнянь, які розрізняються за обсягом, напрямком та способом зіставлення об'єктів.

Вимоги до порівняння:

1. Спільна основа для зіставлення (базис порівняння). Необхідно, щоб об'єкти мали хоча б один спільний зіставний елемент, який дозволяє їх порівнювати (наприклад, загальна ознака, показник, функція).

2. Порівнювані об'єкти мають бути однозначно визначені та зіставні. Не можна порівнювати абстрактні поняття з конкретними або об'єкти, що належать до різних сфер (наприклад, фізичні властивості з емоційними).

3. Визначення ключових характеристик для порівняння. Необхідно чітко визначити, які саме властивості об'єктів будуть порівнюватися.

4. Використання однакових методів та показників. Для коректного порівняння потрібно використовувати однакові інструменти і одиниці вимірювання.

5. Достатній обсяг вибірки. Для узагальнення висновків важливо порівнювати достатню кількість об'єктів.

Завдання порівняння:

1. Виявлення спільних рис. Знаходження об'єктів, що мають схожі ознаки або властивості.

2. Визначення відмінних рис. З'ясування унікальних, відмінних характеристик об'єктів.

3. Оцінення кількісних та якісних показників. Порівняння значень певних показників для досліджуваних об'єктів.

4. Виявлення причинно-наслідкових зв'язків. З'ясування причин відхилень у показниках або властивостях об'єктів.

5. Формування узагальнених висновків. Збір інформації для прийняття рішень або подальшого аналізу.

Види порівнянь:

1. За обсягом:
   - часткове порівняння – це зіставлення окремих ознак об'єктів;
   - комплексне порівняння – це зіставлення багатьох ознак, що дозволяє отримати більш повне уявлення про об'єкти.
2. За напрямком:
   - виявлення загального – це зіставлення об'єктів з метою пошуку спільних рис і закономірностей;
   - виявлення відмінного – це зіставлення об'єктів для підкреслення їхніх індивідуальних особливостей.
3. За способом зіставлення:
   - пряме порівняння – це зіставлення об'єктів, що мають спільну основу;
   - опосередковане порівняння – це порівняння через проміжний, додатковий об'єкт або показник.
4. За часовими проміжками:
   - попереднє порівняння – це зіставлення об'єктів до початку дослідження;
   - наслідкове порівняння – це зіставлення об'єктів після завершення процесу або явища для оцінювання результатів.
5. За характером об'єктів:
   - порівняння синонімічних об'єктів – це зіставлення об'єктів, що належать до одного класу чи типу.

4.4.4 Метод вимірювання

Метод вимірювання базується на експериментальному визначенні числового значення фізичної величини. Вимірювання – це процес отримання цього значення шляхом порівняння величини із певною еталонною мірою. Основними елементами вимірювання є об'єкт вимірювання, засіб вимірювання, метод вимірювання, умови вимірювання та результат вимірювання. Похибка вимірювання – це відхилення отриманого результату від істинної величини, що враховує обмеження точності приладів та умов проведення процесу.

Метод вимірювання – це сукупність прийомів та принципів, що лежать в основі процесу вимірювання.

Існують два основні види методів вимірювання:

1. Метод безпосереднього оцінювання (прямі вимірювання) – вимірювана величина визначається безпосередньо за допомогою приладу.

2. Метод порівняння (непрямі вимірювання) – вимірювана величина визначається шляхом порівняння з іншими величинами або за їх допомогою, наприклад, за математичною залежністю.

Вимірювання полягає у встановленні кількісного співвідношення між вимірюваною величиною та одиницею вимірювання. Результатом вимірювання є числове значення, яке показує, скільки разів вимірювана величина містить одиницю вимірювання. Похибка вимірювання – це невизначеність або відхилення отриманого результату вимірювання від його істинної величини. Вона виникає через обмежену точність вимірювальних приладів, недосконаліть методів, а також вплив зовнішніх умов і випадкових факторів.

Похибки можуть бути:

1. Абсолютна похибка – це різниця між виміряним значенням та істинним значенням величини.

2. Відносна похибка – це абсолютна похибка, виражена у відсотках від істинного значення.

4.4.5 Експеримент як метод наукового дослідження

Експеримент – це активний науковий метод дослідження, що передбачає створення або зміну певних умов для вивчення об’єкта та отримання даних, які дозволяють перевірити гіпотезу і встановити причинно-наслідкові зв’язки. На відміну від спостереження, експеримент потребує взаємодії з об’єктом, його можна повторювати для підтвердження результатів, і він є основою емпіричного підходу до знань. Дослідник безпосередньо взаємодіє з об’єктом, створюючи спеціальні умови для його вивчення. Явища вивчаються у доцільно вибраних або штучно створених умовах, що дозволяє контролювати процес та ізолювати конкретні фактори. Основна мета експерименту – перевірити наукову гіпотезу та встановити причинно-наслідкові зв’язки. Важливою характеристикою активного експерименту є можливість повторення експерименту для отримання ідентичних результатів, що підвищує надійність дослідження. Експеримент необхідно планувати (існує наука – планування експериментів). Внаслідок експерименту збираються дані для подальшого аналізу та формулювання висновків.

4.4.6 Аксіоматичний метод

Аксіоматичний метод – це спосіб побудови наукової теорії, коли всі її положення (теореми) виводяться логічно із невеликої кількості вихідних положень, що називаються аксіомами. Ці аксіоми приймаються як істинні без доведення і слугують фундаментом для подальших роздумів та побудови всієї теорії як єдиної дедуктивної системи.

Теоретична система починається з вибору певних вихідних тверджень, які називаються аксіомами. За допомогою чітко визначених логічних правил із цих аксіом, шляхом дедуктивних міркувань, виводяться нові твердження, які називаються теоремами. Уся теорія формується як єдина дедуктивна система, де кожен елемент є логічним наслідком аксіом.

Аксіоматичний метод широко застосовується в математиці та інших точних науках, зокрема, в геометрії, де він допомагає побудувати строгу та логічно послідовну систему знань.

4.4.7 Гіпотетико-дедуктивний метод

Гіпотетико-дедуктивний метод – це науковий метод, що полягає у висуненні гіпотези (припущення) про причини явищ, а потім у виведенні логічних наслідків з цієї гіпотези за допомогою дедукції для їх подальшої перевірки. Якщо отримані висновки відповідають фактам, гіпотеза підтверджується і перетворюється на достовірне знання.

Спочатку вчений знайомиться з фактами, які потребують пояснення. Якщо наявні закони та теорії не пояснюють ці факти, тоді висувається нове припущення – гіпотеза, яка пропонує пояснення причин і закономірностей досліджуваних явищ. З гіпотези шляхом дедукції (логічного виведення) виводяться наслідки, які можна перевірити. Отримані висновки перевіряються на відповідність фактам. Якщо висновки узгоджуються з даними, гіпотеза вважається підтвердженою. Якщо ж висновки суперечать фактам, гіпотеза спростовується і потребує перегляду.

4.4.8 Абстрагування і конкретизація

Абстрагування – це процес виокремлення загальних, суттєвих ознак об’єкта або явища, ігноруючи другорядні. Конкретизація – це процес повернення від загального до конкретного, наповнення абстрактних понять деталями та індивідуальними ознаками. Метод сходження від абстрактного до конкретного – це процес, що містить уявне (або реальне) моделювання, поступове додавання деталей та зв’язків до абстрактної моделі, що дозволяє отримати детальне, конкретне уявлення про вихідний об’єкт чи явище.

Спочатку формується загальне, абстрактне уявлення про об’єкт, процес чи явище, у якому виділяються його найважливіші, суттєві ознаки та відкидаються другорядні. Поступово, на кожному наступному кроці, до абстрактної моделі додаються нові, менш суттєві деталі, індивідуальні ознаки та зв’язки. Кожне нове доповнення робить модель більш повною, деталізованою та наближеною до реальності, перетворюючи абстрактне уявлення на конкретне. Далі здійснюється перевірка на відповідність отриманої конкретної моделі реальному об’єкту або явищу, щоб переконатися в її точності та повноті.

Приклад застосування методу

- Абстрактне уявлення. Людина – істота, що має свідомість, здатна до мислення та взаємодії з навколишнім світом.
- Конкретизація. Додавання деталей – людина як біологічна істота, що має певну стать, вік, фізичні характеристики, професію, соціальний статус, конкретні риси характеру тощо.

– Сходження від абстрактного до конкретного. Починаючи із загального уявлення про «людину», можливо перейти до образу конкретної людини, поступово додаючи деталі та ознаки, аж до повного, детального опису.

4.4.9 Історичний та логічний метод

Історичний метод вивчає розвиток об'єкта в хронологічній послідовності, розкриваючи всі його особливості, тоді як логічний метод відображає той самий об'єкт у його абстрактній та теоретичній формі, вивільняючи від випадковостей і деталей. Ці два методи тісно пов'язані: логічний метод, по суті, є абстрагованим відображенням історичного розвитку об'єкта, що дозволяє зрозуміти його суть і закономірності в єдиній послідовній формі.

Історичний метод досліджує виникнення, формування та розвиток процесів і подій в їхній реальній, хронологічній послідовності. Такий підхід дозволяє отримати знання про емпіричну історію об'єкта, його розвиток з усіма відхиленнями та випадковостями, а також виявити внутрішні та зовнішні зв'язки, закономірності й суперечності. Історичний метод застосовується перед вивченням сучасного стану об'єкта (наприклад, науки чи сфери діяльності): необхідно дослідити його генезис та розвиток. Логічний метод відображає об'єкт у його абстрактній, теоретичній послідовності, звільняючи його від випадковостей, деталей та зиґзаґів реальної історії. Це дозволяє зрозуміти справжню суть об'єкта, його розвиток як узагальнену, теоретичну модель, що відповідає його внутрішній логіці. Логічний метод є відображенням історичного процесу в узагальненій, теоретичній формі. Історичний і логічний методи є єдиними, оскільки вони вивчають один і той самий об'єкт, але з різних боків – один у його реальному, а інший – в узагальненому, теоретичному аспекті. Вони доповнюють один одного, забезпечуючи повне та глибоке розуміння досліджуваного предмета. Дуже наочно це пояснюється, наприклад, під час вивчення та прогнозування часових фінансових рядів, де вивчення історичних даних є головною складовою моделювання, але водночас з урахуванням певної логіки історичного процесу.

4.5 Наукова інформація: сутність та властивості

Інформація – це сукупність відомостей, знань, даних, які можуть бути сприйняті, передані, збережені або опрацьовані. У контексті науки і наукової інформації – це ключовий ресурс, який використовується для отримання нових знань, побудови гіпотез, підтвердження або спростування теорій. У науковому дослідженні інформація є підґрунтям для формулювання проблеми, обґрунтування теми, порівняння результатів різних вчених, обміну знаннями в науковій спільноті.

Основні властивості наукової інформації:

1. Актуальність – відповідність сучасному стану науки, новизна, тому що застаріла інформація може не відображати останніх наукових досягнень.

2. Достовірність – інформація не має містити помилок, перекручень, неточностей; потрібно мати високий ступінь адекватності, тобто відповідності досліджуваному об'єкту або явищу, що є підґрунтям для правильного відображення дійсності.

3. Релевантність – відповідність темі або завданню дослідження, адже не вся точна інформація є корисною саме для вашої теми.

4. Точність – ступінь деталізованості та конкретності відомостей, що важливо для оцінювання і забезпечення достовірності наукових висновків.

Функції наукової інформації: кумулятивна (накопичення знань) – наукова інформація зберігається та накопичується у вигляді публікацій, баз даних, архівів, створюючи фундамент для нових досліджень; комунікативна (передача знань) – інформація передається між вченими, закладами, науковими школами, як усно (конференції, дискусії), так і письмово (статті, монографії); культурологічна (збереження культурної спадщини) – через наукову інформацію зберігається інтелектуальна, освітня та культурна традиції суспільства.

Джерела інформації поділяються на первинні та вторинні. Первинні джерела містять оригінальні результати дослідження: наукові статті (англ. *peer-reviewed*), дисертації, монографії, звіти про дослідження, патенти, матеріали конференцій. У них вперше публікується нова інформація, і вони є найбільш авторитетними у науковому світі. Вторинні джерела – це джерела, які аналізують, інтерпретують або систематизують інформацію з первинних джерел: оглядові статті, енциклопедії (включно з вікіпедією), довідники, реферативні журнали, аналітичні огляди.

Бібліотечні каталоги існують як традиційні, так і електронні. Традиційні каталоги – карткові каталоги (предметні, алфавітні, систематичні), що зберігаються у бібліотеках і використовуються для пошуку літератури за темою, автором, роком тощо. Електронні каталоги чи автоматизовані бази даних бібліотек дають доступ до інформації онлайн та дозволяють здійснювати швидкий пошук за ключовими словами, фільтрами: Е-каталог НБУ ім. В. Вернадського, *ELibUkr* (Єдина електронна бібліотека України), *Koha, Aleph* (системи управління бібліотеками).

Інтернет – важливе джерело наукової інформації, особливо через спеціалізовані пошукові системи та ресурси.

Електронні наукові видання: *DOAJ (Directory of Open Access Journals), arXiv.org* (переддрукові наукові публікації), *PLOS ONE, SciELO* (відкриті журнали).

Наукометричні бази даних: *Scopus, Web of Science* – найбільш відомі та поважні для доступу до рецензованих статей; *Google Scholar* – зручний інструмент для пошуку наукових публікацій; *PubMed* (медицина), *IEEE Xplore* (інженерія, IT).

Репозиторії, наприклад, *DSpace, Zenodo, Institutional Repositories* для архівування наукових робіт і відкритого доступу до них. Прикладом такої бази даних слугує Репозиторій Вінницького національного технічного університету (ВНТУ). Архіви зберігають як наукові, так і історичні документи (*Internet Archive, Europeana*, Національний репозиторій академічних текстів України).

Академічна доброчесність є основою довіри до науки та головною умовою формування якісного наукового знання. Вона передбачає дотримання дослідниками етичних, правових і методологічних норм, що забезпечують об'єктивність і прозорість наукового процесу.

Достовірність означає відповідність поданих результатів фактичним даним, отриманим у ході дослідження. Науковець зобов'язаний подавати результати чесно, не допускаючи фальсифікацій, маніпуляцій чи вибіркового подання інформації. Порушення цього принципу знижує наукову цінність роботи та шкодить репутації дослідника й установи.

Відкритість полягає у забезпеченні прозорості дослідження – від етапу збору даних до публікації результатів. Це містить можливість перевірки даних іншими науковцями, відкритий доступ до матеріалів і методів, що підвищує відтворюваність та довіру до наукових висновків. Принцип відкритості є фундаментом концепції «відкритої науки» (Open Science).

Запобігання плагіату є невід'ємною частиною академічної доброчесності. Плагіат – це присвоєння чужих ідей, результатів або текстів без належного посилання на джерело. Він суперечить науковій етиці, порушує авторські права й підриває довіру до дослідницької спільноти. Використання сучасних систем перевірки текстів, правильне цитування й формування навичок академічного письма є ключовими засобами запобігання плагіату.

Висновки щодо загальних положень і характеристик методології наукового дослідження

Методологія є фундаментальною основою будь-якого наукового дослідження, оскільки визначає загальні принципи, підходи, методи й засоби пізнання, забезпечуючи цілісність, системність і достовірність наукових результатів. Вона виступає не лише як теоретична система знань про методи пізнання, а й як практичний інструмент організації дослідницької діяльності.

Методи наукового дослідження становлять впорядковану сукупність прийомів, операцій і логічних процедур, що забезпечують досягнення наукових цілей. Їх класифікують за рівнем пізнання (емпіричні, теоретичні, комплексні), за сферою застосування (загальнонаукові, спеціальні), а також за способом отримання знань (спостереження, експеримент, аналіз, синтез, індукція, дедукція, моделювання). Ключовими ознаками наукового методу є об'єктивність, системність, валідність, детермінованість та відт-

ворюваність результатів. Методика як практичний аспект методології деталізує порядок застосування методів й процедур, визначає послідовність дій, критерії оцінення результатів і забезпечує ефективність дослідження. Її головними вимогами є адаптивність, відтворюваність і результативність.

Інформаційні технології відіграють дедалі важливішу роль у науковій діяльності, забезпечуючи збір, обробку, зберігання та поширення інформації, автоматизацію дослідницьких процесів і підвищення продуктивності праці науковців. Системний і аксіологічний підходи становлять методологічні орієнтири сучасної науки. Наукове пізнання характеризується об'єктивністю, доказовістю, системністю, прагненням до істини та прогнозування. Воно реалізується на емпіричному й теоретичному рівнях через спостереження, експеримент, аналіз, моделювання, формування гіпотез і теорій. Емпіричні дані стають підґрунтям теоретичних узагальнень, а теорія – вищою формою наукового знання, що пояснює й передбачає закономірності розвитку об'єктивної дійсності. Науковий факт є вихідною одиницею пізнання, підтвердженою емпірично та інтегрованою в систему теоретичних знань. Теоретичне знання, зі свого боку, забезпечує пояснення явищ через побудову логічно зв'язних систем понять, законів і принципів. Методологічна культура дослідника виявляється у здатності обґрунтовано добирати методи, поєднувати об'єктивність із творчим підходом, критично оцінювати результати та забезпечувати наукову достовірність. Отже, методологія наукового дослідження – це комплексна система знань і засобів, що визначає логіку, структуру та ефективність наукового пізнання. Вона інтегрує теоретичні та практичні аспекти наукової діяльності, забезпечуючи розвиток науки, формування нових знань та їхнє застосування в суспільній практиці.

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке методологія і на які рівні вона поділяється (філософський, загальнонауковий, конкретно-науковий, методичний)?
2. Які складові методології: принципи, парадигми, теорії, поняття, методи?
3. Як парадигма визначає допустимі методи та інтерпретації?
4. Чим відрізняються принципи від правил і процедур?
5. Наведіть приклад того, як методологічні обмеження впливають на розробку дизайну наукового дослідження.
6. Як логічна структура теорії пов'язана з емпіричними передбаченнями?
7. Поясніть, як процеси верифікації та фальсифікації співвідносяться з різними рівнями наукового аналізу.
8. Як здійснити методологічний аудит проєкту?

9. Проаналізуйте роль припущень і обмежень у формуванні наукової моделі.

10. Охарактеризуйте, як досягається баланс між теоретичною строгістю та практичною доцільністю в наукових дослідженнях.

11. У чому полягає відмінність у дослідницьких питаннях від гіпотез?

12. Визначте критерії оцінення якості наукової методології.

13. Розробіть методологічний каркас для теми, послідовно враховуючи принципи, парадигму, теорії та методи.

14. Проведіть аудит проєкту за чек-листом, що містить десять ключових пунктів.

15. Охарактеризуйте правила узгодження методів дослідження з дослідницькими питаннями.

16. Складіть матрицю, що відображає взаємозв'язок між рівнями, типовими помилками та відповідними діями.

17. Побудуйте causal-діаграму, що ілюструє припущення та обмеження дослідження.

18. Оцініть п'ять методів дослідження з погляду строгості та практичної доцільності.

19. Сформулюйте протокол документування припущень у дослідженні.

20. Розробіть політику оновлення методології на основі підходів meta-research.

21. Підготуйте memo з критеріями якості наукової методології.

22. Надайте означення основних властивостей наукової інформації.

23. Порівняйте ефективність використання джерел наукової інформації.

РОЗДІЛ 5 ПОДАННЯ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ

5.1 Організаційні та методичні вимоги до звіту з наукової роботи

За результатами наукового дослідження, виконаного на замовлення держави або юридичної чи приватної особи, чи у зв'язку з виконанням індивідуального плану роботи наукового дослідника, що працює в науковій установі, завжди оформляється звіт про виконану роботу з наукової теми, що після реєстрації вважається рукописною науковою роботою, яку дозволяється вносити до списку наукових праць кожного наукового дослідника, офіційно внесеного до списку виконавців цієї наукової теми.

На титульному аркуші звіту зазначаються, в якій організації виконана робота, назва теми цієї наукової роботи та номер її державної реєстрації.

На наступному аркуші вказуються усі виконавці цієї роботи, котрі своїм власним підписом засвідчують свою участь у її виконанні. Потім розміщується зміст роботи, в якому наводяться назви розділів і підрозділів та вказуються сторінки, з яких починається викладення суті кожного розділу чи підрозділу.

Будь-який звіт про виконання наукової роботи за затвердженою темою має містити анотацію українською та англійською мовами, яка складається із кількох речень, котрі вказують на те, чому присвячена наукова робота та що в ній досягнуто, і яка закінчується ключовими словами, що являють собою набір із 7–12 іменників чи іменників з прикметниками, які в разі їх доповнення відповідними дієсловами передають основну суть роботи, її предмет дослідження та прив'язку до конкретної наукової галузі. Потім наводиться вступ, в якому обґрунтовується актуальність цієї наукової теми, вказується її місце в загальному полі наукових досліджень за цією проблематикою та формулюються задачі, поставлені для дослідження теми, дається характеристика наукової новизни отриманих результатів та їх апробації. Далі у звіті йдуть розділи, в яких викладається суть наукового дослідження та отримані наукові результати, і робляться висновки за матеріалами кожного розділу. Розділи можуть розбиватися на підрозділи, присвячені викладенню суті більш вузьких досліджень, що проводяться в межах конкретного розділу. Після викладення останнього розділу розміщуються загальні висновки з теми. Далі наводиться список літературних джерел, використаних під час виконання цієї роботи, та додатки, в яких подаються проміжні результати (використані комп'ютерні програми чи таблиці експериментальних даних та акти впровадження окремих результатів чи теми загалом).

Звіт оформляється з дотриманням відповідних державних стандартів і прийнятої в цій науковій галузі термінології. Усі формули, рисунки і таблиці у звіті повинні мати номери з двох чисел, розділених крапкою, перше з яких вказує на порядковий номер розділу, а друге – на порядковий номер формули, рисунка чи таблиці в цьому розділі.

Список використаних літературних джерел може подаватися або в алфавітному порядку за прізвищами їхніх авторів, або в порядку здійснення посилань на них під час викладення матеріалу в розділах.

Технічне завдання (ТЗ) на наукову роботу – це документ, який визначає мету, обсяг, зміст, методи та результати наукової роботи, а також вимоги до її оформлення та захисту. Технічне завдання є вихідним документом для проведення наукових досліджень і забезпечує чітке розуміння між замовником (науковим керівником, організацією) та виконавцем (науковцем, аспірантом).

Основні розділи технічного завдання на наукову роботу:

1. Загальні положення
   - Назва роботи.
   - Актуальність теми.
   - Об’єкт дослідження.
   - Предмет дослідження.
   - Мета дослідження.
   - Завдання дослідження.
   - Гіпотеза дослідження (за наявності).
   - Методи дослідження.
2. Основна частина
   - Огляд літератури за темою (аналіз наявних наукових праць, теорій, концепцій).
   - Опис власних досліджень (теоретичних, експериментальних, емпіричних).
   - Результати досліджень (отримані дані, їх аналіз, обговорення).
   - Висновки та узагальнення.
3. Вимоги до оформлення роботи
   - Обсяг роботи (кількість сторінок).
   - Структура роботи (розділи, підрозділи).
   - Вимоги до оформлення титульного аркуша, змісту, списку використаних джерел, додатків.
   - Вимоги до оформлення таблиць, рисунків, формул.
4. Вимоги до захисту роботи:
   - Форма захисту (науковий семінар, конференція, дисертаційна рада).
   - Вимоги до доповіді, презентації.
   - Критерії оцінювання роботи.
5. Терміни виконання роботи
   - Етапи виконання роботи з чіткими термінами.
   - Кінцевий термін здачі роботи.
6. Перелік додатків
   - Таблиці, рисунки, анкети, інші матеріали, що підтверджують результати роботи.

7. Список використаних джерел

- Перелік наукових праць, використаних у роботі.

Наведена структура не є обов'язковою і визначається вимогами конкретного проєкту, його замовників та виконавців.

Технічне завдання на наукову роботу має бути чітким, конкретним і зрозумілим для виконавця. Воно має містити достатньо інформації для проведення якісного дослідження та досягнення поставлених цілей.

У міжнародних проєктах замість технічного завдання часто використовують термін специфікація (англ. *specification*) чи *Product Requirements Document* (*PRD*).

5.2 Наукові публікації

Для ознайомлення широкої наукової громадськості з результатами наукових досліджень необхідні наявність публікацій у наукових журналах та доповідей на наукових семінарах або конференціях.

Існують такі види наукових публікацій: монографія, стаття, автореферат, тези доповідей, наукова доповідь. Наукові публікації виходять у формі друкованих або електронних видань. Видання – це такий документ, що пройшов «редакційно-видавниче опрацювання, виготовлений друкуванням, тисненням або іншим способом, містить інформацію, призначену для поширення і відповідає вимогам державних стандартів, інших нормативних документів щодо видавничого оформлення і поліграфічного виконання» (ДСТУ 3017: 2015 «Видання. Основні види. Терміни та визначення»).

Монографія – це наукове книжкове видання, присвячене дослідженню однієї проблеми або теми, що належить одному чи кільком авторам. У ній викладено результати всебічного дослідження певної наукової проблеми чи теми. Монографія може містити як нові, так і відомі наукові результати та технічні рішення.

Стаття – це вміщені в науковому журналі чи збірнику результати дослідження конкретного питання, що мають певне наукове й практичне значення.

Автореферат дисертації – це наукове видання у вигляді брошури авторського реферату проведеного дослідження, яке подається на здобуття наукового ступеня. Автореферат – це стислий зміст дисертаційного дослідження.

Тези доповідей, матеріали наукової конференції – це неперіодичні збірники підсумків наукових конференцій, доповідей, рекомендацій та рішень. Матеріали доповідей зазвичай публікуються у вигляді наукової статті, а тези – у вигляді анотації (стислого змісту) матеріалів доповідей.

Наукові видання потребують строгого дотримання видавничого оформлення, а саме, вихідних відомостей, вихідних і випускних даних:

1. Вихідні відомості – це відомості про авторів, назву видання, підзаголовні й надзаголовні дані, нумерація, вихідні дані, індекси УДК (універсальна десяткова класифікація), міжнародний стандартний номер книги тощо.

2. Вихідні дані містять: місце випуску видання, назву видавництва і рік випуску.

3. До випускних даних належать: дати подання й підписання до друку; формат паперу і частка аркуша; тип і номер паперу; гарнітура шрифту основного тексту; спосіб друку; обсяг видання в умовних друкарських та обліково-видавничих аркушах тощо.

Наукова стаття – один з основних видів публікацій. Вона містить виклад проміжних або кінцевих результатів наукового дослідження, висвітлює конкретне окреме питання з теми дисертації, фіксує науковий пріоритет автора, робить матеріал надбанням фахівців. Наукові статті до дисертацій мають обов'язково бути опубліковані у виданнях, перелік яких затверджений МОН України для кожної наукової спеціальності. Наукова стаття подається до редакції в завершеному вигляді відповідно до вимог, що публікуються в окремих номерах журналів або збірниках у вигляді пам'ятки авторам. Рукопис статті, окрім основного тексту, має містити повну назву роботи, прізвище та ініціали автора(-ів), анотації, список використаної літератури.

Стаття має містити такі структурні елементи:

1. Вступ – постановка наукової проблеми, її актуальність, значення для розвитку певної галузі науки або практичної діяльності. Метою вступу є доведення до читача основних завдань, які ставив перед собою автор статті, докладне пояснення причин, з яких було почато дослідження, розкриття актуальності цієї теми.

2. Формулювання мети статті (постановка завдання) передбачає виголошення головної ідеї цієї публікації і суті досліджень, а також містить якісний результат, що передбачено досягти шляхом проведення досліджень.

3. Аналіз останніх досліджень і публікацій, де розглядаються питання, яким присвячена стаття; існуючі погляди на проблему. Відповідно до цього аналізу та мети статті обґрунтовуються напрям і завдання досліджень.

4. Викладення змісту власного дослідження – основна частина статті. У ній висвітлюються основні положення й результати наукового дослідження, особисті ідеї, думки, отримані наукові факти, виявлені закономірності, зв'язки, тенденції, програма експерименту, методика отримання та аналіз фактичного матеріалу.

5. Висновок, в якому коротко формулюється основний результат дослідження, зміст висновків і рекомендацій, їхнє значення для теорії й практики, суспільна значущість, окреслюються перспективи подальших досліджень з теми.

6. Бібліографічний список цитованої літератури, в якому вміщені бібліографічні описи тих літературних джерел, на які є посилання у тексті статті.

7. Анотації додаються до статей українською та англійською мовами.

Жанр наукової статті потребує дотримання певних правил:

– назва статті стисло відбиває її головну ідею, думку (у середньому п’ять слів);

– потрібно уникати стилю наукового звіту чи науково-популярної статті;

– недоцільно ставити риторичні запитання;

– мають переважати розповідні речення;

– не потрібно постійно виділяти текст цифрами («1», «2» тощо), підкреслюючи ті чи інші думки або положення;

– потрібно починати перелік елементів, позицій з нового рядка, відокремлюючи їх один від одного крапкою з комою;

– у тексті допустимо використовувати різні види переліків, зокрема: слова-послідовники (*спочатку*, *потім*, *далі*, *нарешті*), порядкові вирази (*по-перше*, *по-друге*, *по-третє*) та позначення етапів (*на першому етапі*, *на другому етапі* тощо);

– цитати у статті мають містити точні бібліографічні посилання;

– усі посилання на авторитети подаються на початку статті, основний же її обсяг присвячують викладу власних думок;

– не потрібно наводити для підтвердження достовірності своїх висновків і рекомендацій висловлювання інших учених, оскільки це свідчить, що ідея дослідника не нова, була відома раніше і не підлягає сумніву;

– стаття має завершуватися конкретними висновками і рекомендаціями.

Методика підготовки доповідей на наукових конференціях дещо відрізняється, хоча план доповіді – аналогічний плану статті. Зміни у формі та змісті подання матеріалу обумовлені специфікою усного мовлення, а також тим, що значна частина матеріалу викладена на слайдах. На слайди зазвичай виносяться математичні постановки завдання, методи розв’язання, алгоритми, структури систем, схеми експериментальних установок, результати у табличній чи графічній формах, короткі висновки. У зв’язку з цим матеріали доповіді подаються як коментарі до поданого ілюстративного матеріалу, тому обсяг доповіді зазвичай менший від обсягу статті.

Детальніше розглянемо процедуру підготовки наукової статті до публікації. Для публікації результатів у вигляді статей у наукових журналах необхідно дотримуватись правил оформлення матеріалів, які у вигляді рукопису чи в електронному вигляді надсилаються до редакції наукового журналу, та отримати позитивну рецензію профільного члена редколегії цього журналу чи залученого редколегією експерта. Вимоги до оформлення рукописів статей в різних наукових журналах можуть відрізнятися, але

щодо структури статті вони є однаковими. За цими вимогами стаття має починатися із заголовка, що пов'язаний з метою, об'єктом чи предметом дослідження. Потім необхідно вказати прізвища та ініціали авторів, які розміщуються або в алфавітному порядку або згідно із внесеною у статтю авторською часткою, і назву організації, в якій виконано це наукове дослідження. Далі йде анотація українською та англійською мовами разом із ключовими словами. Потім – вступна частина, яка називається або «Вступ», або «Вихідні передумови та постановка задачі», в якій дається характеристика наукових робіт інших авторів, котрі займалися дослідженням цієї ж наукової тематики, та постановка задач власного дослідження, розв'язання яких приведе до створення нових наукових результатів з цієї тематики. Після цього подається основна частина статті, яку зазвичай називають «Викладення основних результатів дослідження». У ній наводяться авторські результати, що можуть містити формулювання та доведення теорем, висунення й обґрунтування гіпотез, синтез моделей процесів і явищ, а також дослідження цих процесів за допомогою створених моделей. За потреби подається опис нових технологій або конструкцій приладів з відповідними математичними виразами, таблицями, графіками, діаграмами чи структурними схемами.

За необхідності основний розділ статті може розбиватися на підрозділи, в яких матеріал концентрується навколо певної його характеристики, наприклад, в одному підрозділі здійснюється синтез математичної моделі процесу, а в іншому цей процес досліджується з застосуванням цієї моделі. Після викладення основних результатів дослідження подається розділ «Аналіз отриманих результатів», у якому здійснюється їх оцінювання щодо узгодженості між собою та достатності для досягнення поставленої мети дослідження.

Обов'язковим є розділ, який називається «Висновки» (англ. *Conclusion*), в якому наводяться узагальнені висновки за матеріалами цього дослідження. Вони не мають бути суцільним текстом, а мають бути чітко і конкретно сформульовані. Останнім розділом статті є «Список використаних літературних джерел» або «Список літератури», в якому наводяться, за своїми порядковими номерами, всі літературні джерела, що використовувалися під час написання статті. Коли у тексті статті використовувався якийсь матеріал із того чи іншого джерела, наприкінці відповідного речення у квадратних дужках наводиться порядковий номер цього джерела. У разі ж, якщо в статті якийсь матеріал із літературного джерела, взятий дослівно, то крім посилання на порядковий номер цього джерела у квадратних дужках необхідно також взяти цитований текст в лапки і вказати, що він є цитатою із цього джерела. Наприкінці статті зазначаються відомості про автора: місце роботи (організація), науковий ступінь і вчене звання, повне ім'я (прізвище, ім'я, по батькові), а також контактні дані – номер телефону та адреса електронної пошти.

Як правило, журнальні статті мають бути обсягом до восьми набраних півторальним інтервалом сторінок разом із рисунками, яких бажано в одній статті мати не більше трьох-чотирьох. Оглядові статті, які замовляються редколегією журналу авторитетному вченому в цій галузі науки, можуть досягати й 16 сторінок.

Формули, наведені у статті, повинні мати порядкові номери, розташовані справа на рівні тексту та взяті в круглі дужки. Рисунки також нумеруються й мають підписи, розміщені під ними. Нумеруються і таблиці, але їхні назви розміщуються над ними.

Для супроводу свого виступу на науковому семінарі або науковій конференції дослідник створює електронну презентацію, за допомогою якої, використовуючи проєктор, з'єднаний з комп'ютером, виводить на екран слайди, які містять необхідні формули, схеми, графіки, діаграми.

Якщо презентація готується для виступу на міжнародній науковій конференції за участю іноземних вчених, її потрібно готувати англійською мовою. На ній необхідно наводити короткі пояснення до формул, рисунків, схем, таблиць і діаграм. Це допоможе донести зміст виступу до іноземних учасників навіть у разі, коли через хвилювання або недостатнє володіння англійською мовою деякі слова не можуть бути вимовлені під час доповіді.

Відповідаючи на запитання, поставлені англійською мовою, необхідно зосереджувати увагу на ключових словах у кожному запитанні. Додаючи до них відповідні твердження або заперечення, можна без особливої напруги відповісти на всі запитання. Загалом, не так уже й важливо, чи сподобалася відповідь доповідача тому, хто задав запитання – головне, щоб було справлене гарне враження на аудиторію швидкістю й однозначністю коротких відповідей.

Посилання на наукові статті важливо подавати відповідно до встановлених стандартів. Використання правильних форматів допоможе забезпечити належну відомість авторам досліджень і дозволить іншим дослідникам знаходити джерела, на яких базується наукова робота.

Рекомендації щодо правильного посилання на наукові статті:

1. У тексті дослідження.

Посилання на інші дослідження зазвичай вносять в текст дослідження у дужках: (*Smith et al., 2021*) або (*Johnson and Williams, 2019*); або вказується у квадратних дужках номер джерела у списку використаних джерел, що наводиться у кінці публікації. Для наукових публікацій посилання на використані джерела обов'язкове, для навчальної літератури бажане, але там вони можуть бути просто вказані в переліку рекомендованих джерел без посилання в тексті.

2. Список літератури.

Усі посилання на наукові статті, які використовуються в дослідженні, мають бути перераховані в окремому розділі під назвою «Список літератури» або «Література». Список має бути розташований в алфавітному порядку за прізвищами авторів.

3. Формат посилань.

Формат посилань залежить від типу джерела. Зазвичай, наукові статті посилаються у такому форматі: Автори (рік). Назва статті. Назва журналу, том (випуск), сторінки.

4. Ідентифікатор DOI.

DOI (*Digital Object Identifier*) – унікальний ідентифікатор статті. Якщо стаття має ідентифікатор DOI, то його наводять наприкінці посилання у вигляді повної адреси, наприклад: doi: https://doi.org/10.1234/abcd.12345.

5. Електронні ресурси.

Якщо автор статті посилається на веб-сторінки, електронні ресурси або онлайн-журнали, необхідно, щоб було подано URL-адреси і дату перегляду.

6. Правильність інформації.

Необхідна перевірка, щоб посилання були точними та коректними. Також необхідно переконатися, що були правильно вказані автори, назви статті, журналу чи видавництва, а також правильні дати видання. Необхідно пам’ятати, що точне та правильне посилання є важливим елементом дотримання наукової етики та джерелом інформації для інших дослідників. Використання рекомендованих форматів допоможе забезпечити належну відомість авторам, що сприятиме академічній чесності та поширенню знань.

Посилання на використану літературу є важливим елементом будь-якого наукового або навчального дослідження, включно з навчальною літературою. Посилання допомагають забезпечити належну відомість авторам дослідження та підтверджують, що результати досліджень базуються на попередніх наукових джерелах. У кожному науковому дослідженні або навчальній роботі мають бути наведені посилання на всі використані джерела, навіть якщо це навчальні посібники, підручники або інша навчальна література (список використаної літератури наводиться, як правило, в кінці). Зазначення посилань покращує наукову достовірність, етику та обґрунтованість дослідження.

Останнім часом набуває поширення практика подання опублікованих наукових результатів у відомих міжнародних наукометричних базах (НМБ), яких існує кілька десятків. Найбільш відомими й авторитетними з них є дві англомовні бази – *Scopus* та *Web of Science* (*WoS*), створені приватними компаніями. Ці НМБ надають перевагу вузькопрофільним науковим журналам, тому українських наукових видань, які зазвичай мають широкий профіль, станом на середину 2025 року у цих базах небагато.

Потрібно нагадати, яким чином розраховується коефіцієнт Гірша, який є індексом цитування наукових робіт певного автора, розміщених у журналах, занесених у якусь відому міжнародну НМБ, та як визначається імпакт-фактор наукового журналу, що входить у відповідну міжнародну НМБ.

Якщо автор опублікував кілька наукових статей у журналах, внесених до конкретної міжнародної НМБ, то його коефіцієнт Гірша розраховується на основі статті з найбільшою кількістю цитувань. Так, наприклад, якщо автор опублікував двадцять наукових статей, на п’ять із яких посилаються

п’ять разів автори інших наукових статей, опублікованих в наукових журналах, що входять до цієї ж міжнародної НМБ, які не є його співавторами, а інші 15 статей цього автора мають кількість посилань, меншу п’яти, то цей автор має значення коефіцієнта Гірша, що дорівнює відповідно п’яти. Якщо ж інший автор опублікував 200 наукових статей, але лише дві з них мають по два цитування, а інші статті мають або по одному цитуванню, або не мають цитувань зовсім, то цей автор має коефіцієнт Гірша, що дорівнює двом.

Наукові журнали характеризуються показником імпакт-фактора, який визначається в конкретній НМБ, до якої він входить, шляхом ділення кількості посилань на статті, опубліковані за два попередні роки в журналах, що подані в цій самій НМБ, на загальну кількість статей, опублікованих за ці ж два роки в журналі, імпакт-фактор якого визначається. Наприклад, якщо за 2023 та 2024 роки в науковому журналі, представленому, наприклад, у НМБ WoS, опубліковано сумарно 250 статей, на які є 125 посилань в журналах, поданих у цій же НМБ, то імпакт-фактор станом на 2025 рік цього журналу дорівнюватиме 0,5.

Далі розглянемо особливості подання результатів, отриманих під час виконання науково-дослідної теми, в процесі написання кваліфікаційних дипломних робіт і дисертацій.

Дисертація (кваліфікаційна робота) має такі основні структурні елементи: титульний аркуш; анотація; зміст; перелік умовних позначень (за необхідності); основна частина; список використаних джерел; додатки.

Для наукової праці важливим є не тільки актуальність теми, теоретична наукова цінність та практична значущість отриманих результатів, а й рівень загальнометодичної підготовки дослідника, що відображається в композиції та стилі викладення напрацьованого матеріалу. Порядок подання наукових матеріалів має найпереконливіше розкривати задум дослідника, а їх розміщення має відповідати внутрішньому логічному зв’язку етапів дослідження. Традиційно склалася певна композиція наукової праці з основними елементами: зміст; перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів; вступ; розділи основної частини; загальні висновки; бібліографія; додатки.

У вступі зазвичай обґрунтовується актуальність вибраної теми, мета і зміст поставлених задач, формулюються об’єкт і предмет досліджень, зазначаються вибрані для досліджень методи, визначаються теоретична цінність і практична значущість отриманих результатів. Мета роботи має бути спрямована на досягнення якісного результату шляхом проведення досліджень у вибраному напрямі.

Огляд літератури (виділяється окремим розділом) з теми дослідження, в який вносяться найбільш цінні актуальні роботи. Огляд має становити систематизований аналіз теоретичної, методичної та практичної новизни, значущості, переваг і недоліків досліджуваних робіт, які доцільно згрупувати за змістовою ознакою: історичні аспекти розвитку проблеми, теорети-

чні праці, присвячені темі повністю, та дослідження, у яких вона розкрита частково.

В огляді не потрібно наводити повний бібліографічний опис публікацій, що аналізуються, достатньо назвати назву та автора, а поруч у квадратних дужках поставити порядковий номер бібліографічного запису цієї роботи у списку літератури. Закінчити огляд потрібно коротким висновком про ступінь висвітленості в літературі основних аспектів теми. Аналіз літературних джерел у науковій роботі – це процес систематичного вивчення, оцінення та узагальнення інформації, яка міститься в наукових працях, статтях, книгах та інших опублікованих матеріалах, що стосуються теми дослідження. Мета аналізу – визначити поточний стан знань з теми, виявити прогалини, суперечності та перспективи для подальшого дослідження, а також обґрунтувати актуальність та новизну власної роботи.

Етапи аналізу літературних джерел:

1. Визначення цілей та завдань аналізу:
   – Що саме потрібно дізнатися з літератури?
   – Які питання потрібно вирішити за допомогою аналізу?
2. Вибір та пошук літературних джерел:
   – Визначення релевантних літературних джерел за допомогою ключових слів, баз даних, бібліотек тощо.
   – Оцінення якості та достовірності літературних джерел.
3. Вивчення та систематизація літературних джерел:
   – Ознайомлення з основними положеннями, методами, результатами та висновками.
   – Виділення ключових ідей та аргументів.
   – Систематизація інформації за розділами, темами, хронологією тощо.
4. Критичний аналіз та оцінення літературних джерел:
   – Встановлення сильних і слабких сторін кожного літературного джерела.
   – Виявлення суперечностей і розбіжностей у різних літературних джерелах.
   – Оцінення обґрунтованості та достовірності даних.
5. Узагальнення та синтез інформації:
   – Визначення загальних тенденцій та закономірностей.
   – Виявлення прогалин у знаннях і формулювання нових питань для дослідження.
   – Обґрунтування актуальності та новизни власної роботи.
6. Оформлення результатів аналізу:
   – Написання огляду літератури, що містить критичний аналіз і узагальнення.
   – Включення посилань на використані літературні джерела.

Важливо врахування таких правил:

1. Аналіз літератури має бути об'єктивним і неупередженим.
2. Необхідно критично оцінювати інформацію та уникати однобічного підходу.
3. Результати аналізу мають бути логічно пов'язані з метою та завданнями дослідження.
4. Обов'язково потрібно дотримуватися правил оформлення списку використаних джерел.
5. Висновки з аналізу літератури стають основою для подальшої роботи над науковим дослідженням, допомагають обґрунтувати вибір напряму та задачі досліджень.

У розділах основної частини детально розглядаються методика і техніка дослідження, узагальнюються результати. Зміст розділів має відповідати темі наукового дослідження та повністю її розкривати. Перший розділ зазвичай містить огляд стану проблеми та обґрунтування напряму та задач досліджень відповідно до сформульованої раніше мети роботи. Всі несуттєві для розв'язання наукового завдання матеріали виносяться у додатки, а в розділах основної частини недоцільно викладати тривіальні проміжні визначення та обчислення. Наприкінці кожного розділу необхідно сформулювати короткі висновки. Висновки до розділів теоретичної частини мають містити: коротку суть результату з цифрами і фактами; формулювання новизни результату; обґрунтування достовірності результату; пояснення практичної цінності результату. Висновки до розділів експериментальної частини мають містити: коротку суть отриманого результату з цифрами і фактами; характеристику новизни отриманого результату; аналіз відповідності теоретичних і експериментальних даних; практичну цінність отриманого результату.

Загальні висновки наукової праці мають послідовно й логічно узагальнити отримані результати та визначити їх відповідність загальній меті й конкретним завданням, сформульованим у вступі. Загальні висновки не можна підмінювати механічним складанням окремих висновків за розділами основної частини, адже вони формулюють усе те нове, суттєве, що становить кінцеві результати дослідження, в послідовності, яка визначається логікою побудови дослідження (як відповідь на поставлені завдання дослідження).

Бібліографічний список використаної літератури – важлива частина наукової праці, яка відтворює самостійну творчу роботу дослідника. Дослідник зобов'язаний посилатися на джерела, з яких у його роботі використано матеріали, окремі результати, ідеї чи висновки для розроблення власних задач. Рекомендується посилатися на останні видання праць. Більш ранні видання можна зазначити лише в тих випадках, коли наявний в них матеріал не ввійшов до останнього видання. Не рекомендується вносити до списку джерел ті праці, на які немає посилань в тексті (тобто вони фактично не були використані).

5.3 Система інтелектуальної власності в Україні

5.3.1 Правова база інтелектуальної власності

Право інтелектуальної власності (ІВ) – це сукупність цивільно-правових норм, що регулюють відносини, пов'язані зі створенням і використанням результатів творчої діяльності. Цивільне право не втручається у сам процес творчості, а визначає правовий режим уже створених результатів, порядок визнання авторства, а також механізми морального й матеріального стимулювання та захисту прав їхніх творців.

Авторські, винахідницькі та подібні їм права є виключними (абсолютними) – вони надають власникам повноваження використовувати об'єкти права ІВ та забороняти іншим особам їхнє неправомірне використання. Виникнення таких прав зумовлено розвитком товарно-грошових відносин в інтелектуальній сфері, що наблизило їх до прав власності.

Суть права ІВ полягає в нематеріальній природі її об'єктів і подвійній структурі – поєднанні особистих немайнових і майнових прав. Немайнові права (духовна власність) належать лише творцю – це право визнаватися автором, захищати честь і репутацію, а також інші особисті права, визначені законом. Майнові права охоплюють використання об'єкта, надання дозволів, заборону неправомірного використання та інші повноваження, що забезпечують комерційну вигоду. Вони можуть належати як автору, так і іншим фізичним чи юридичним особам, мають часові й територіальні межі: наприклад, патент на винахід діє 20 років, на торговельну марку – 10 років з можливістю продовження, а авторське право – протягом життя автора та 70 років після його смерті.

Початок формування українського законодавства у сфері ІВ пов'язаний із прийняттям Закону України «Про власність», який містив спеціальний розділ «Право інтелектуальної власності». Першим спеціальним актом став Закон від 21 квітня 1993 р. «Про охорону прав на сорти рослин», що започаткував створення національної системи правової охорони результатів творчої діяльності.

Загальні засади охорони права громадян на творчу діяльність закріплені у статті 41 Конституції України, яка проголошує, що кожен має право володіти, користуватися і розпоряджатися результатами своєї інтелектуальної, творчої діяльності. Стаття 54 Конституції гарантує громадянам свободу літературної, художньої, наукової і технічної творчості, а також захист ІВ, авторських прав, моральних і матеріальних інтересів, що виникають у зв'язку з творчою діяльністю. Ці положення становлять фундамент правового режиму ІВ в Україні, особливо актуального, в умовах воєнного стану та курсу держави на інноваційний розвиток.

Правову основу реалізації та захисту прав ІВ в Україні становить система спеціальних законів, серед яких:

– Закон України від 15 грудня 1993 р. «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі»;

– Закон України від 15 грудня 1993 р. «Про охорону прав на промислові зразки»;

– Закон України від 15 грудня 1993 р. «Про охорону прав на знаки для товарів і послуг»;

– Закон України від 23 грудня 1993 р. «Про авторське право і суміжні права» (у редакції 2022–2023 рр. із врахуванням європейських директив);

– Закон України від 10 лютого 1995 р. «Про наукову і науково-технічну експертизу»;

– Закон України від 5 листопада 1997 р. «Про охорону прав на топографії інтегральних мікросхем»;

– Закон України від 25 червня 1993 р. «Про науково-технічну інформацію» та інші нормативно-правові акти, які регулюють суміжні сфери ІВ.

У 2022–2024 роках в Україні проведено масштабну реформу державного управління у сфері ІВ. Функції колишнього Укрпатенту передано новоствореному Національному агентству інтелектуальної власності та інновацій (UANIPIO), що нині виконує функції національного органу з охорони прав ІВ, здійснює експертизу заявок, веде державні реєстри, проводить інформаційно-просвітницьку діяльність та координує політику у сфері інновацій.

У зв’язку з воєнним станом у 2022–2024 рр. в Україні діяли тимчасові норми щодо продовження строків дії прав ІВ, подання заявок і сплати зборів. Проте з набранням чинності Законом № 4362-IX від 16 квітня 2025 р. «Про відновлення строків у сфері інтелектуальної власності» з 31 травня 2025 р. відновлено стандартні процедури та строки, призупинені на період війни. Це забезпечило стабільність правовідносин та повернення до звичайного режиму охорони прав ІВ.

На сучасному етапі Україна активно адаптує своє законодавство до європейського права ІВ у межах імплементації Угоди про асоціацію з ЄС. Розроблено Національну стратегію розвитку системи інтелектуальної власності на 2025–2030 роки, яка передбачає цифровізацію процедур, розвиток інноваційної екосистеми, посилення боротьби з піратством і контрафактом, а також підтримку авторів, винахідників і стартапів.

Таким чином, система охорони ІВ в Україні у 2025 році базується на поєднанні конституційних гарантій, оновленої нормативно-правової бази, євроінтеграційних стандартів та сучасних механізмів державного управління, спрямованих на розвиток творчого потенціалу громадян і зміцнення інноваційної економіки держави.

5.3.2 Основні поняття та означення

У правовій системі ІВ можна виділити три самостійні підсистеми об’єктів (рис. 5.1): авторського права і суміжних прав; промислової власності; нетрадиційних.



Рисунок 5.1 – Схема правової системи ІВ

Термін «авторське право» вживається у двох значеннях:

1. Авторське право – частина цивільного права, яка визначає правовідносини (права і обов’язки), що виникають у зв’язку зі створенням і використанням (виданням, виконанням, показом тощо) творів літератури, науки і мистецтва (© – знак охорони авторських прав із вказанням імені (найменування) особи, що має авторське право, і року першої публікації твору). У таких відносинах беруть участь автор – творець твору та юридична або фізична особа – користувач (авторське право в об’єктивному розумінні).

2. Термін «авторське право» часто вживається для позначення прав, належних автору якого-небудь твору. До них відносяться особисті немайнові і майнові права (авторське право в суб’єктивному розумінні або суб’єктивне авторське право).

Отже, авторське право поширюється на такі об’єкти ІВ:

1. Твори науки – письмові твори наукового, технічного, прикладного характеру (книги, брошури, статті, комп’ютерні програми); твори в галузі географії, геології, топографії, архітектури; усні твори (виступи, лекції і доповіді); переклади; бази даних.

2. Твори літератури – письмові твори белетристичного характеру; збірки обробленого фольклору; усні твори.

3. Твори мистецтва – музичні твори з текстом і без; драматичні, хореографічні, аудіовізуальні твори, твори образотворчого і прикладного мистецтва, архітектури, фотографії; сценічні обробки, аранжування, обробка і переклади творів.

Автор отримує свідоцтво про державну реєстрацію своїх прав на твір.

Суміжні права – права на результати творчої діяльності виконавців, виробників фонограм і організацій мовлення, пов'язані з використанням творів літератури і мистецтва, на що авторські права належать іншим особам (® – знак наявності суміжних прав із вказанням імені (найменування) особи, що має суміжні права, і вказанням року першої публікації фонограми).

Таким чином, істотною особливістю більшості суміжних прав є їх похідність і залежність від прав авторів творів. Лише в тих випадках, коли

виконується, записується на фонограму або передається в ефір чи по кабелю твір, що не охороняється законом, або об'єкт, який не є результатом творчої діяльності, суміжні права мають самостійний характер. Охорона об'єктів суміжних прав здійснюється без впливу на охорону творів, захищених авторським правом.

Суб'єкти суміжних прав мають самостійний характер. Суб'єкти суміжних прав мають, як і автори, виключні права на використання своїх об'єктів у будь-якій формі.

Об'єктами суміжних прав є:

– виконання для фіксації, відтворення і розповсюдження за допомогою технічних засобів;

– записи виконання (фонограми, відеограми) та інші записи за допомогою технічних засобів;

– трансляція в ефір або по кабелю.

Більш вузьким стосовно «інтелектуальної власності» є поняття «промислова власність» як результат науково-технічної творчості.

Промислова власність – це вид ІВ, який охоплює права на такі об'єкти промислової власності, як винаходи, корисні моделі, промислові зразки, товарні знаки, знаки обслуговування, фірмові найменування та географічні зазначення про походження товарів, а також припинення недобросовісної конкуренції, передбачені Паризькою конвенцією з охорони промислової власності. Промислова власність розуміється в найбільш широкому значенні і поширюється на промисловість, торгівлю, сільське господарство, добувну промисловість, медицину, на всі продукти промислового чи природного походження, наприклад: вино, зерно, тютюновий лист, фрукти, худобу, копалини, мінеральні води, пиво, квіти, борошно тощо.

Є окрема група об'єктів, які можна назвати нетрадиційними результатами ІВ: наукові відкриття, топографи (компонування) інтегральних мікросхем, раціоналізаторські пропозиції, селекційні досягнення у рослинництві (сорти рослин, породи тварин), комерційні таємниці тощо.

Винахід – це рішення утилітарного завдання (продукт творчої діяльності) в будь-якій галузі промисловості або іншій сфері суспільно корисної діяльності людини, що відповідає визначеним законодавством умовам надання правової охорони і визнане як винахід компетентним державним органом.

Корисна модель – результат творчої діяльності людини в галузі технології, яка пов'язана з конструктивним виконанням пристрою.

Промисловий зразок – результат творчої діяльності людини у галузі художнього конструювання.

Товарний знак (знак для товарів і послуг, торговельна марка) – це один із засобів ідентифікації товарів або послуг, тобто позначення, здатне відрізняти товари або послуги однієї особи від товарів або послуг іншої особи.

Наукове відкриття – встановлення невідомих раніше, але об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей і явищ матеріального світу, які

вносять докорінні зміни у рівень наукового пізнання. Право на наукове відкриття засвідчується дипломом та охороняється у порядку, встановленому законом. На географічні, археологічні і палеонтологічні відкриття, а також на відкриття корисних копалин і в галузі суспільних наук дипломи не видаються.

Топографія інтегральної мікросхеми – зафіксоване на матеріальному носії просторово-геометричне розміщення сукупності елементів інтегральної мікросхеми та з'єднань між ними.

Раціоналізаторська пропозиція – визнана юридичною особою пропозиція, яка містить технологічне (технічне) або організаційне рішення у будь-якій сфері діяльності (наприклад, вона передбачає зміну або удосконалення конструкції виробу, технології виробництва, складу матеріалу).

Селекційним досягненням у рослинництві є новий сорт рослин — окрема група рослин (клон, лінія, гібрид першого покоління, популяція), яка має право на охорону, якщо вона відповідає певним умовам, що проявляються через характеристики, зумовлені певним генотипом або комбінацією генотипів.

Селекційним досягненням у тваринництві є створена внаслідок цілеспрямованої творчої діяльності група племінних тварин (порода, породний тип, лінія, сім'я тощо), яка має нові високі генетичні ознаки, що стійко передаються їх нащадкам.

«Ноу-хау» – це конфіденційна інформація наукового, технічного, виробничого, адміністративного, фінансового, комерційного або іншого характеру, що практично застосовується у діяльності і поки ще не стала загальним надбанням.

Фірмове (комерційне) найменування – це позначення, що відноситься до розрізняльних знаків і містить в собі назву, терміни або найменування, що слугують для того, щоб розпізнати фірму та її ділову діяльність і відрізнити її від інших виробників.

У той час, як товарні знаки (або торговельні марки) відрізняють товари і послуги одного виробника від іншого, найменування фірми ідентифікує все підприємство безвідносно до товарів або послуг, що реалізовуються нею на ринку, і є символом репутації і реноме відповідної фірми. Таким чином, фірмове найменування є її цінним активом, а також джерелом корисної інформації для споживачів. Тобто, охорона найменувань відповідає інтересам як виробників, так і споживачів, рівною мірою зацікавлених у тому, щоб були передбачені правові інструменти, які запобігають використанню фірмового найменування способами, що призводять до помилки або до сплутування.

Фірмові найменування є об'єктом охорони законодавства більшості країн, однак правові режими, що регулюють їх використання, змінюються в широких межах від країни до країни. Як правило, вони визначаються комбінацією положень цивільного, торгового законодавства, а також законів, що регулюють діяльність компаній, використання товарних знаків

і/або законів про несумлінну конкуренцію і/або спеціальних законів про фірмові найменування. У багатьох країнах передбачена система реєстрації фірмових найменувань, хоча між ними є значні відмінності за територіальним обхватом (місцеве і/або національне), а також за правовими наслідками реєстрації.

Назва місця походження товару (географічне зазначення) – назва географічного місця (країни, регіону, місцевості), що слугує для позначення товару, який походить з вказаного географічного місця, і особливі властивості якого пов'язані з природними і людськими факторами, притаманними цьому місцю. В Україні правова охорона надається на підставі реєстрації згідно із Законом України «Про охорону прав на зазначення походження товарів».

Недобросовісною конкуренцією є будь-які дії господарюючих суб'єктів, які суперечать правилам та чесним звичаям у підприємницькій діяльності. Відповідно до міжнародних правових норм, зокрема Паризької конвенції з охорони промислової власності, актами недобросовісної конкуренції вважаються всі дії, що можуть будь-яким чином викликати сплутування стосовно підприємства, продукції або промислової чи торговельної діяльності конкурента; неправдиві твердження під час здійснення комерційної діяльності, що дискредитують підприємство, продукцію або промислову чи торговельну діяльність конкурента; інформація, використання якої під час здійснення комерційної діяльності може ввести в оману стосовно характеру, способу виготовлення, якості та кількості товарів.

Відповідно до Закону України «Про захист від недобросовісної конкуренції» недобросовісною конкуренцією визнаються такі дії:

– неправомірне використання чужих позначень, рекламних матеріалів, упаковки, зокрема фірмових найменувань, знаків для товарів і послуг;

– неправомірне використання товару іншого виробника, копіювання зовнішнього вигляду виробу;

– дискредитація господарюючого суб'єкта (підприємця);

– купівля-продаж товарів, виконання робіт;

– надання послуг із примусовим асортиментом;

– схилення господарюючого суб'єкта (підприємця) до розірвання договору з конкурентом;

– досягнення неправомірних переваг у конкуренції;

– розголошення комерційної таємниці;

– схилення до розголошення комерційної таємниці;

– неправомірне використання комерційної таємниці тощо.

У системі охорони ІВ з'явилися такі поняття, як гудвіл і франчайзинг.

Гудвіл (ділова репутація) – комплекс заходів, спрямованих на збільшення прибутку підприємства без відповідного збільшення активних операцій, включно з використанням кращого управлінського хисту, що має домінуючу позицію на ринку продукції (робіт, послуг), нових технологій.

Гудвіл – це нематеріальний актив, вартість якого визначається як різниця між балансовою вартістю активів підприємства та його звичайною вартістю як цілісного майнового комплексу, що виникає внаслідок використання кращих управлінських якостей, домінуючої позиції на ринку товарів (робіт, послуг), нових технологій тощо.

Франчайзинг – це особливе право спеціальних привілей, пільга (у широкому розумінні слова). За договором франчайзингу одна сторона (правовласник) зобов'язується надати іншій стороні (користувачеві) за винагороду на строк або без визначення строку право використання в підприємницькій діяльності користувача комплекс виключних прав, які належать правовласнику, зокрема на фірмове найменування і/або комерційне позначення правовласника, на комерційну інформацію, що охороняється, а також інші передбачені договором об'єкти виключних прав – знак для товарів і послуг тощо.

Заявляються і одержують правову охорону в Україні (з видаванням охоронного документа) у формі патентів – винаходи (корисні моделі) і промислові зразки; у формі свідоцтва – на знаки для товарів і послуг, на твори науки, літератури і мистецтва; у формі посвідчення або свідоцтва – на раціоналізаторські пропозиції.

Патент – це юридично-технічний документ, що видається компетентним державним органом і яким держава засвідчує виключне право власника на створений ним об'єкт промислової власності (винахід, корисну модель, промисловий зразок, сорт рослин). Це юридичний документ, оскільки закріплює за власником патенту визначені законом права. Водночас це технічний документ, оскільки він дає технічний опис об'єкта.

Патент засвідчує від імені держави: що заявлена пропозиція є охороноспроможним об'єктом; встановлення права авторства на об'єкт; визнання права власності на об'єкт; визнання пріоритету на об'єкт.

Патенти, видані на один об'єкт у різних країнах, є незалежними. Патент завжди має територіальний характер, тобто видається і діє відповідно до вимог національного (регіонального) законодавства. Патент надає його власнику виключне право на використання об'єкта на власний розсуд.

В Україні права, що засвідчуються патентом, діють від дати публікації відомостей про його видачу і не зачіпають жодних інших особистих майнових чи немайнових прав винахідника (автора).

Термін дії патенту:

1) на винахід – 20 років з дати подання заявки (патент без проведення експертизи по суті називається деклараційним і діє шість років);

2) на корисну модель – 10 років з дати подання заявки;

3) на промисловий зразок – 10 років з дати подання заявки;

4) на сорти рослин – 20 років з дати подання заявки (для винограду і плодових культур – 30 років) і може бути продовжений, але не більше ніж на 10 років.

5.3.3 Теоретико-правові засади авторського права і ліцензійних відносин

Авторські права поділяються на три види: особисті немайнові, майнові та право слідування.

Особисті немайнові права належать тільки автору твору. Майнові права можуть передаватися автором третім особам на підставі авторського договору з метою одержання винагороди. Проміжне місце між немайновими й майновими правами займає право слідування, що, будучи особистим правом, тісно пов'язане з майновими інтересами автора. Для виникнення і здійснення авторських прав не вимагається виконання жодних формальностей.

Особа, яка має авторське право або будь-яку виключну правомочність на твір, може його зареєструвати в офіційних державних реєстрах протягом строку охорони авторського права. Державній реєстрації можуть бути піддані свідчення про авторство на обнародуваний чи необнародуваний твір, факт і дата опублікування твору та договори, які зачіпають права автора на твір.

Передусім автору чи іншій особі, що має авторське право, належить виключне право на використання твору в будь-якій формі і будь-яким способом. Виключне право – право, коли жодна особа, крім тієї, якій належить авторське право або суміжні права, не може використовувати твір, не маючи на те відповідного дозволу (ліцензії), за винятком випадків, установлених Законом «Про авторське право та суміжні права».

Закон надає автору чи іншій особі, що має авторське право, виключне право дозволяти або забороняти:

1. Відтворення творів, тобто виготовлення одного або більше примірників твору в будь-якій матеріальній формі, зокрема у звуко- і відеозапису, а також запис твору або фонограми для тимчасового чи постійного зберігання в електронній (включно цифрову), оптичній або іншій формі, яку зчитує машина. Примірник – це результат будь-якого відтворення твору.

2. Публічне виконання і публічне сповіщення творів. Публічне виконання – це подання творів, виконань, фонограм, передач організації мовлення шляхом декламації, гри, співу, танцю та іншим способом як безпосередньо (у живому виконанні), так і за допомогою будь-яких пристроїв і процесів (за винятком передачі в ефір або за допомогою кабельних ліній) у місцях, де присутні чи можуть бути присутніми особи, які не належать до звичайного кола сім'ї або близьких знайомих сім'ї незалежно від того, чи присутні вони в одному місці і в один й той самий час або в різних місцях і в різний час;

3. Публічний показ – будь-яка демонстрація оригіналу або примірника творів, виконань, передач організацій мовлення безпосередньо або на екрані за допомогою плівки, слайда, телевізійного кадру тощо (за винятком передач в ефір чи по проводах) або за допомогою інших пристроїв чи процесів невизначеному колу осіб;

4. Будь-яке повторне публічне сповіщення в ефірі або за допомогою кабельних ліній вже переданих в ефір творів, якщо воно здійснюється іншою організацією.

5. Переклади творів – автор оригіналу може сам перекласти свій твір іншою мовою (авторський переклад). За наявності авторського перекладу ніхто інший не може перекладати цей твір тією самою мовою. Від авторського перекладу потрібно відрізняти авторизовані переклади, тобто схвалені автором.

6. Переробки, адаптації, аранжування та інші подібні зміни творів.

7. Розповсюдження творів шляхом продажу, відчуження іншим способом або шляхом здавання в найм чи у прокат та іншої передачі до першого продажу примірників твору.

8. Здавання в найм після першого продажу, відчуження іншим способом примірників аудіовізуальних творів, музичних творів у нотній формі, а також творів, зафіксованих на фонограмі або у формі, яку зчитує машина.

9. Імпорт примірників творів.

Зазначений перелік не є вичерпним. Автор має право надавати або забороняти використання свого твору іншими способами.

Особисті немайнові права захищають зв'язок особистості автора з його твором. Їх неможливо оцінити у грошовому еквіваленті, вони є невідчуженими і від них не можна відмовитися. Особисті немайнові права – це право авторства; право на авторське ім'я; право на обнародування твору, включно право на відкликання; право на захист репутації автора.

Право авторства полягає в тому, що тільки справжній творець вправі називати себе автором твору, а усі інші особи, що використовують твір, зобов'язані зазначати ім'я його автора. Право авторства закріплює факт створення цього твору конкретною особою, а це має значення для суспільної оцінки як твору, так і особи автора.

Право на авторське ім'я передбачає обов'язкове зазначення імені автора під час використання твору, за винятком випадків, коли твір образотворчого мистецтва або фотографічний твір використовується у промисловості. У цих випадках ім'я автора не згадується із суто технічних причин. Право на авторське ім'я дає автору змогу випустити свій твір за власним ім'ям, умовним (псевдонімом) або взагалі без зазначення імені (анонімно). Право на ім'я надають з метою індивідуалізації осіб, які створюють твори науки, літератури й мистецтва. У більшості випадків автор публікує свої твори під власним ім'ям, тобто вказує своє прізвище та ініціали. Поряд з цим автору надано право випускати у світ свій твір під псевдонімом або анонімно.

Право на вибір способу зазначення імені, а також на розкриття псевдоніма або анонiма є особистим правом автора. Лише у випадку, коли автор у своєму творі порушив чиїсь права (наприклад, образив когось), на вимогу слідчих органів або суду видавництво, редакція газети чи театр, яким відоме справжнє ім'я автора, може розкрити його псевдонім чи анонім.

Право на захист репутації автора. Автору належить особисте немайнове право перешкоджати будь-якому перекручуванню, зміні його твору або іншому зазіханню, що може нашкодити його честі й репутації. Суть цього права полягає в тому, що у разі видання, публічного оповіщення або іншого використання твору забороняється без згоди автора вносити які-небудь зміни в самому творі, його назві й позначенні імені автора. Забороняється без згоди автора додавати до твору під час його видання ілюстрації, передмови, післямови, коментарі, а також які-небудь пояснення. За типовими видавничими договорами малюнок і навіть колір обкладинки можна зробити лише за згодою автора.

Право на обнародування твору. За законом право на обнародування твору – це дія, що робить твір доступним для публіки, якими б засобами це не досягалося. Зазначене право є істотним особистим немайновим правом. Його ще називають правом випуску твору у світ. Відповідно до чинного законодавства твір вважається випущеним у світ (опублікованим, обнародуваним), якщо він виданий, публічно виконаний, публічно показаний, переданий по радіо чи телебаченню або будь-яким способом повідомлений невизначеному колу осіб. Твір може бути випущений у світ різними способами, але істотним є те, що його зміст повідомлений невизначеному колу осіб. Спосіб випуску твору у світ залежить від його форми, характеру. Письмові твори (наукові, художні, драматичні, музично-драматичні тощо) випускаються у світ шляхом видання; твори образотворчого мистецтва – шляхом їхнього показу на виставках, розміщення в музеях для загального огляду. Скульптури, наприклад, виставляють на площах, вулицях, у пам'ятних місцях тощо. Музичні твори можна випустити у світ шляхом публічного виконання, передання по радіо чи телебаченню або шляхом видання. Не вважається випуском у світ (опублікуванням) інформація про твір з викладенням його короткого змісту або повідомлення вузькому колу осіб (наприклад, коли поет прочитає свій вірш у колі друзів, композитор виконає сонату на сімейному вечорі).

Право першого опублікування твору належить самому автору. Тільки він вправі вирішувати, чи готовий його твір до випуску у світ. Порушення цих прав дає автору підставу вимагати виплати гонорару або відшкодування завданих збитків, а також вжиття інших заходів аж до вилучення твору і заборони випуску його у світ. Право на обнародування твору містить у собі право на відкликання, тобто право відмовитися від раніше ухваленого рішення про публічне сповіщення. Право на відкликання може бути реалізоване в будь-який час після того, як автор погодився на обнародування твору або сам його обнародував. У цьому випадку можливі дві ситуації. Перша має місце у тому випадку, коли автор дав дозвіл на обнародування свого твору, але він ще не був привселюдно оголошений. У цьому випадку автор має повідомити своєму партнеру за договором про свою відмову від даної раніше згоди на публічне озвучення свого твору. Публічні заяви з

боку автора не потрібні. Автор зобов'язаний відшкодувати збитки партнера та сплатити санкцію, визначену у договорі.

Друга ситуація виникає в тому випадку, коли твір був оприлюднений (самим автором або за його дозволом). У цьому випадку треба публічно оповістити громадськість про відкликання твору. Це необхідно для припинення його бездоговірного використання. І в цьому випадку автор має відшкодувати збитки своїм договірним партнерам.

Право на відкликання не може бути використано автором у випадку, якщо його твір є службовим. У такому випадку, якщо автор, що створив цей твір, відшкодує роботодавцеві вартість витрачених під час створення твору коштів, то його не можна буде змусити передати свій твір роботодавцю.

Право на авторську винагороду – це основне майнове право автора чи іншої особи, що має авторське право. Підставою для винагород є факт використання твору будь-яким способом. Основні правові форми використання творів є, власне, виключним правом дозволяти або забороняти ті чи інші дії. Найчастіше вживаються обнародування і опублікування творів.

Конкретними юридичними фактами, що породжують у автора чи іншої особи, яка має авторське право, право на винагороду, можуть бути:

– авторський договір (видавничий, постановчий, сценарний, художнього замовлення тощо);

– факт позадоговірного використання твору, коли не потребується згода автора, але передбачена виплата авторської винагороди;

– неправомірне використання твору.

Винагорода, одержана автором чи іншою особою, яка має авторське право, є, по суті, винагородою за працю, вкладену у створення твору. Вона може бути у формі заробітної плати (наприклад, штатний художник, науковий співробітник науково-дослідної установи) або авторського гонорару. Можливе поєднання цих форм оплати. За винятком випадків, коли допускається використання твору без згоди автора і без виплати йому авторської винагороди, винагорода має виплачуватися за будь-яке використання твору. Винагорода може здійснюватися у вигляді одноразового платежу (одноразова винагорода), у формі відрахувань (відсотків) за кожний проданий примірник чи кожне використання твору або складатися із змішаних платежів.

Важливим механізмом реалізації та отримання авторської винагороди є укладення ліцензійних договорів, які визначають умови використання об'єктів ІВ іншими особами. Стосовно об'єктів ІВ термін «ліцензія» (від лат. *licentia* – дозвіл) має самостійне значення й свою специфіку. Під ліцензією розуміється дозвіл, відповідно до якого власник виключного права на певний об'єкт ІВ (ліцензіар) надає іншій зацікавленій особі (ліцензіатові) право користування вказаним об'єктом за обумовлену винагороду й на певних умовах. Передача прав на використання об'єктів ІВ у сучасному суспільстві відбувається винятково у вигляді оформлення ліцензійних до-

говорів. Це двосторонні угоди, що забезпечують охорону інтересів договірних сторін, укладаються в письмовій формі і мають відповідати ряду вимог, які детально розглянуто нижче.

Відповідно до Цивільного кодексу України будь-яке позадоговірне використання об'єкта ІВ визнається неправомірним і кваліфікується як порушення прав на цей об'єкт. В основі виникнення й прогресивного розвитку міжнародної торгівлі ліцензіями лежить суспільний поділ праці. Якщо на певній стадії розвитку продуктивних сил суспільства виник суспільний поділ праці в області промислового виробництва, що породило внутрішню і зовнішню торгівлю матеріальними товарами, то виниклий згодом суспільний поділ праці в області науково-дослідних і конструкторських робіт привів до внутрішньої, а потім до міжнародної торгівлі нематеріальними ідеями – результатами досліджень і розробок, що містять винаходи, промислові зразки і ноу-хау. Вони стали передаватися за ліцензійними договорами для їхньої матеріалізації у конкретні об'єкти техніки і технології з наступним застосуванням чи продажем. Для забезпечення захисту винаходів і промислових зразків у країнах світу вводилося патентне законодавство, яке забезпечило патентну монополію на їх використання, а для захисту ноу-хау – монополію таємності. Використання нової техніки і технології стало неможливим без придбання ліцензій у патентовласників та без передачі ноу-хау, що зберігається в таємниці. Об'єкти права ІВ мають значні відмінності щодо їх правової охорони. Проте, всі вони мають і певні загальні риси, зокрема щодо легального режиму їх використання. Легальне використання прав на всі ці об'єкти можливе лише за умови їх ліцензування. У світовій практиці обміну науково-технічними досягненнями застосовується така опосередкована форма правовідносин, як ліцензійний договір. Зважаючи на це, в останні 50 років торгівля ліцензіями набула значного поширення. Це пов'язано з декількома питаннями. Наприклад, з тим, що науково-технічні дослідження потребують багато часу і дуже часто, коли технічна розробка об'єкта техніки підходить до свого логічного завершення виявляється, що вона морально застаріла.

Ліцензійний договір є життєздатним засобом стратегії, спрямованої на оптимальне економічне використання патентованого винаходу не тільки в інтересах сторін договору, а й в інтересах широкої громадськості. Таким чином, ліцензійна діяльність є невід'ємною складовою частиною цивільно-правових відносин суб'єктів підприємницької діяльності в умовах ринкових відносин.

Україна має значні досягнення в галузі науки і техніки, які можуть бути успішно реалізовані. У той самий час розробники науково-технічної продукції і автори створених об'єктів промислової власності в більшості випадків не можуть ефективно розпоряджатися результатами своєї інтелектуальної діяльності. Великий науково-технічний потенціал не знаходить собі застосування, насамперед через відсутність інформації про створені об'єкти у потенційних споживачів, а також тому, що власники об'єктів не

можуть правильно визначити сферу застосування створеного нововведення, правильно вибрати коло потенційних споживачів, розрахувати попит і визначити канали розповсюдження товару на ринку.

Передумовою виникнення ліцензійного договору був поділ юристами Стародавнього Риму речей на тілесні і безтілесні, коли під останніми розумілися різного роду права. Безумовно, що у ті часи не існувало інституту права ІВ, але базові положення римського права щодо поділу речей стали основою для його виникнення в майбутньому.

5.3.4 Порядок оформлення патентних прав на об'єкти інтелектуальної власності

Оформлення патентних прав на кожний вид об'єкта має свої особливості, зумовлені його специфікою. Проте ці особливості переважно не мають принципового характеру і не перешкоджають розгляду порядку оформлення патентних прав як певну узагальнену процедуру.

Заявка на видачу патенту – це сукупність документів, які подають до Патентного відомства з метою отримання патенту. Заявка має стосуватися одного винаходу, корисної моделі, промислового зразка або групи винаходів, корисних моделей, промислових зразків, пов'язаних єдиним винахідницьким задумом.

Датою подання заявки є дата одержання установою матеріалів, що містять принаймні:

– заяву в довільній формі про видачу патенту, викладену українською мовою;

– відомості про заявника та його адресу, викладені українською мовою;

– зображення винаходу, що дає уявлення про його зовнішній вигляд (для промислового зразка);

– матеріал, що за зовнішніми ознаками є описом винаходу, корисної моделі, промислового зразка, викладеним українською або іншою мовою.

Відповідно до ст. 14 Закону України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» порядок одержання патенту на підставі міжнародної заявки є таким самим, як порядок одержання патенту на підставі національної заявки, за винятками, що випливають з Договору про патентну кооперацію.

Відповідно до ст. 12 Закону України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» заявка має містити такі документи:

– заяву на видачу патенту на винахід, корисну модель;

– опис винаходу, корисної моделі;

– формулу винаходу, корисної моделі;

– рисунки (креслення або інші графічні матеріали), якщо на них є посилання в описі;

– реферат.

Відповідно до ст. 11 Закону України «Про охорону прав на промислові зразки» заявка має містити такі документи:

– заяву на видачу патенту на промисловий зразок;

– комплект зображень винаходу (власне виріб чи його макет), що дають повне уявлення про його зовнішній вигляд;

– опис промислового зразка;

– креслення, схему, карту (якщо необхідно).

Заява на видачу патенту – це прохання про видачу патенту на винахід, корисну модель, промисловий зразок. Заява має містити відомості про винахід, корисну модель або промисловий зразок, а також про осіб, зазначених у заявці: заявника, винахідника чи автора промислового зразка (якщо вони не збігаються) та представника заявника.

Опис винаходу, корисної моделі, промислового зразка чітко і в повному обсязі розкриває суть винаходу. Завдання полягає в тому, щоб викласти суть винаходу, дати можливість фахівцеві відтворити винахід, показати, яке завдання вирішує винахід, які переваги має запропоноване рішення, чим воно відрізняється від уже відомих.

Опис винаходу містить такі пункти, як: назва винаходу в класі міжнародної класифікації винаходів; галузь техніки, до якої належить винахід, і переважна сфера його використання; характеристика прототипу, вибраного заявником; критика прототипу; завдання, яке розв'язує винахід; суть винаходу; перелік креслень (якщо вони необхідні); приклади конкретного використання винаходу.

Опис промислового зразка містить такі пункти, як: назва промислового зразка; призначення та галузь застосування промислового зразка; опис аналога та порівняння з ним промислового зразка, на який подано заявку; перелік фотографій, креслень, схем; суть та істотні ознаки виробу, на який подано заявку; застосовність промислового зразка для використання у промисловості або в іншій сфері діяльності.

Формула винаходу – це стисла вичерпна словесна характеристика винаходу, що містить сукупність усіх його суттєвих ознак і визначає обсяг правової охорони винаходу. Формула складається за встановленими правилами та безпосередньо пов'язана з описом винаходу.

Реферат винаходу (корисної моделі) – це скорочене викладення змісту опису винаходу (корисної моделі), яке містить назву винаходу (корисної моделі), характеристику галузі техніки, до якої належить винахід (корисна модель), і (або) галузь його застосування, характеристику суті винаходу (корисної моделі) із зазначенням технічного результату, якого мають досягти.

До складу заявки на видачу патенту на винахід, корисну модель можуть входити рисунки (креслення та інші графічні матеріали), якщо вони необхідні для розуміння суті опису. Їх необхідно погоджувати з текстом опису й оформляти у вигляді графічних матеріалів (власне креслень, схем, графіків, рисунків тощо), фотографій, таблиць, діаграм тощо.

Рисунки подають, якщо неможливо проілюструвати опис розроблення кресленнями або схемами. Фотографії додають як доповнення до інших видів графічних матеріалів.

До заявки на промисловий зразок за необхідності можуть входити креслення загального вигляду виробу або схема, карта. Зазначені документи мають містити додаткову інформацію про заявлене художньо-конструкторське рішення, яка відсутня у фотографіях.

До заявки на видачу патенту на винахід, корисну модель або промисловий зразок додають документ, який підтверджує сплату збору у встановленому розмірі або підстави для звільнення від сплати збору, а також для зменшення його розміру.

Висновки щодо оформлення та подання наукових результатів

Оформлення та подання результатів наукового дослідження є завершальним етапом наукової діяльності, що забезпечує перевірку достовірності отриманих даних, їх визнання науковою спільнотою та подальше використання. Від якості оформлення залежать сприйняття результатів, їхня наукова цінність і практична застосовність. Звіт з наукової роботи – офіційний документ, який відображає повний цикл дослідження: від постановки мети й завдань до узагальнення результатів. Він має відповідати державним стандартам і містити структуровані елементи (титульний аркуш, анотацію, вступ, основну частину, висновки, список джерел, додатки). Важливим інструментом є технічне завдання, яке визначає мету, методи, етапи й очікувані результати дослідження. Наукова публікація – основний засіб поширення результатів і засвідчення наукового пріоритету автора. Основними видами наукових публікацій є монографії, статті, автореферати, тези доповідей і матеріали конференцій. Усі публікації мають відповідати вимогам наукової обґрунтованості, логічності, точності та коректності посилань. Дотримання міжнародних стандартів цитування, етичних норм і вимог до публікацій підвищує видимість досліджень і сприяє інтеграції у світовий науковий простір. Рівень мовного, структурного й логічного оформлення наукового тексту відображає професійну зрілість дослідника. Належне оформлення й подання результатів є необхідною умовою завершеності та достовірності наукової діяльності. На основі звітів, дисертацій та публікацій результати досліджень набувають визнання, практичної цінності й впливають на подальший розвиток науки й освіти. Подання власних наукових результатів неможливо розглядати без аналізу системи інтелектуальної власності і захисту авторських прав дослідників. Система ІВ України є складним правовим і інституційним утворенням, спрямованим на забезпечення належного визнання, охорони та комерціалізації результатів інтелектуальної, творчої й інноваційної діяльності. Її формування ґрунтується на положеннях Конституції України, міжнародних зобов’язаннях держави, зокрема в межах Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, а також на

сучасних тенденціях розвитку європейського права ІВ. Українська модель охорони прав ІВ охоплює три основні підсистеми: авторське право і суміжні права, промислову власність та нетрадиційні об'єкти ІВ. Такий поділ забезпечує комплексне регулювання правових відносин у сферах творчої, науково-технічної та комерційної діяльності. Визначальною ознакою інституту ІВ є подвійна природа прав – поєднання особистих немайнових прав автора з його майновими правомочностями. Це забезпечує баланс між моральним визнанням творця і його економічною зацікавленістю у використанні результатів своєї праці. Значну роль у розвитку системи ІВ відіграють державні органи управління, передусім Національне агентство ІВ та інновацій (UANIPIO), яке виконує функції експертизи заявок, ведення реєстрів і реалізації національної політики у сфері інновацій. Патентна система України базується на принципах прозорості, правової визначеності та гармонізації з міжнародними процедурами, що забезпечує ефективну охорону прав на винаходи, корисні моделі та промислові зразки. Оформлення патентних прав здійснюється шляхом подання заявки, що містить визначений законодавством пакет документів, і завершується отриманням патенту як правовстановлювального документа. Сучасний етап розвитку системи ІВ характеризується цифровізацією процедур, євроінтеграційною адаптацією законодавства, боротьбою з піратством і контрафактом, а також розвитком ліцензійних і договірних відносин, що сприяють ефективному використанню об'єктів ІВ у сфері бізнесу, науки та культури. Таким чином, інститут ІВ в Україні є невід'ємним елементом правової системи, що поєднує національні традиції, міжнародні стандарти та стратегічні завдання розвитку інноваційної економіки. Його подальше вдосконалення передбачає підвищення рівня правової культури, забезпечення ефективного захисту прав авторів і винахідників, а також формування сприятливого середовища для комерціалізації результатів творчої діяльності.

Контрольні запитання та завдання

1. Якою є рекомендована структура наукового звіту та її логіка побудови?
2. Які основні елементи має містити вступ (актуальність, мета, завдання, новизна)?
3. Які вимоги висуваються до формування висновків дослідження?
4. Як коректно інтегрувати результати експериментів у текст звіту?
5. Які вимоги висуваються до анотації та добору ключових слів?
6. Як має бути структурований вступ із урахуванням усіх обов'язкових компонентів?
7. Якими є оптимальна структура додатків і критерії винесення матеріалів за основний текст?
8. Як оформити анотацію обсягом 200–250 слів і визначити 5–7 ключових слів?

9. Чим відрізняється цитування у тексті від оформлення бібліографічного списку?

10. Що таке DOI та з якою метою його зазначають у бібліографії?

11. Як правильно оформлювати посилання на електронні ресурси й указувати дату звернення?

12. Які основні стилі цитування застосовуються у наукових працях (APA, IEEE, Chicago тощо)?

13. Як правильно цитувати препринти та технічні звіти?

14. Які інструменти використовують для керування бібліографією?

15. Як перевіряти коректність бібліографічних метаданих (через Crossref або інші сервіси)?

16. Як перевіряти доступність електронних посилань у списку літератури?

17. Як перетворити «сирі» бібліографічні записи на коректні, із зазначенням DOI, URL і дат звернення?

18. У чому полягає суть права ІВ як складової цивільного права?

19. Які положення Конституції України визначають правові основи охорони ІВ?

20. Назвіть основні законодавчі акти, що регулюють сферу ІВ в Україні.

21. У чому полягають функції Національного агентства інтелектуальної власності та інновацій (UANIPIO)?

22. Як класифікуються об’єкти ІВ відповідно до українського законодавства?

23. Які відмінності між авторським правом і суміжними правами?

24. Розкрийте смисл поняття «промислова власність» та які її основні об’єкти?

25. Охарактеризуйте суть та значення нетрадиційних об’єктів ІВ.

26. У чому полягає зміст особистих немайнових і майнових прав автора?

27. Які особливості має правовий режим патентів в Україні?

28. Розкрийте порядок подання заявки на одержання патенту на винахід, корисну модель або промисловий зразок.

29. У чому полягає суть і значення ліцензійних договорів у сфері ІВ?

30. Які міжнародні стандарти охорони ІВ імплементуються в українське законодавство?

31. Які напрями подальшого розвитку системи ІВ в Україні визначено на період до 2030 року?

32. Що таке «право слідування» та яке його значення в системі авторського права?

33. Яким чином здійснюється правовий захист фірмового найменування та географічних зазначень походження товарів?

34. Які дії визнаються недобросовісною конкуренцією у сфері ІВ?

РОЗДІЛ 6 ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖННЯХ

6.1 Інфраструктура відтворюваних обчислень і відкритої науки

Сучасні наукові дослідження спираються на цілу екосистему програмних засобів для збору, обробки, моделювання, візуалізації та поширення даних. Особливого значення набули два концептуальні підходи, що взаємно підсилюються: принципи керування даними FAIR та практика відтворюваних обчислень. FAIR-інструкції (Findable – знаходжувані, Accessible – доступні, Interoperable – сумісні, Reusable – повторно використовувані) були сформульовані як базові принципи того, щоб дані, алгоритми, інструменти та робочі процеси ставали «першокласними об'єктами» наукової екосистеми. Дотримання FAIR-інструкцій забезпечує як людям, так і комп'ютерним агентам, орієнтованим на машинне опрацювання, доступ та інтеграцію наукових даних і програмних продуктів, що суттєво полегшує їх пошук, автоматизовану обробку та повторне використання. З іншого боку, відтворюваність обчислювального дослідження (англ. *reproducible computing*) потребує повного протоколювання шляху до кожного результату та мінімізації невідтворюваних ручних операцій. Цей підхід закладено в настановах «Ten Simple Rules for Reproducible Computational Research», де для кожного результату необхідно зберігати інформацію про його спосіб отримання, а також уникати несистематичних кроків. Відтворювані обчислювальні дослідження стали новим мінімальним стандартом достовірності наукових результатів, оскільки не завжди можливо здійснити повне незалежне відтворення досліду. Загалом, поєднання FAIR-принципів і практик відтворення обчислювального дослідження спрямоване на підвищення прозорості, здатності до машинного зчитування та довірчості наукового процесу.

У сучасній обчислювальній практиці центральне місце посідають інтерактивні обчислювальні документи – записники, що поєднують програмний код, пояснювальний текст, математичні формули та візуалізації. Програмне середовище Jupyter фактично стало стандартом для створення «живих» записників (зокрема, у середовищах Jupyter Notebook та JupyterLab), у яких науковці прототипують аналітичні процедури, документують послідовність обчислювальних кроків і готують матеріали до публікації. У записниках Jupyter програмний код можна виконувати безпосередньо в інтерактивному середовищі, миттєво отримуючи результати, доповнені текстовими інтерпретаціями та візуалізаціями. Такий підхід підвищує відтворюваність і прозорість аналітичного процесу. Для перетворення інтерактивних записників на самодостатні, відтворювані публікації використовують інструменти Jupyter Book (для компіляції наборів ноутбуків у форматі статичної книги або веб-сайту) та сервіс Binder (який дає змогу запускати код

у відтворюваному середовищі без потреби локального встановлення програм). Це забезпечує безшовну інтеграцію коду та даних із публікацією, яку читач може негайно відтворити самостійно.

Автоматизація обчислювальних робочих процесів суттєво підвищує надійність і відтворюваність наукових досліджень. Для цього широко застосовуються workflow-менеджери, зокрема Snakemake та Nextflow, які дають змогу декларативно описувати повний аналітичний конвеєр – від сирих даних до підсумкових результатів – із автоматичним відстеженням залежностей між етапами. Системи керування обчислювальними процесами (workflow-системи) забезпечують повторюваність аналізу, масштабованість виконання – від локального комп'ютера до кластерних або хмарних обчислювальних платформ – та інтеграцію контейнерів для уніфікації обчислювального середовища. Їхню ефективність і значущість для відтворюваних обчислень підтверджено у низці рецензованих публікацій: зокрема, Snakemake було представлено в Bioinformatics (2012 р.), а Nextflow – у Nature Biotechnology (2017 р.).

Додатково, для ізоляції залежностей та стабільності середовищ дедалі ширше застосовуються контейнери, зокрема технологія Docker. Контейнеризація дає змогу упакувати програмний код, бібліотеки та конфігурації у вигляді цілісного образу, фіксуючи версії всіх компонентів. Це дозволяє виконувати аналіз на різних платформах – від персонального ноутбука до кластера чи хмарної інфраструктури – без потреби змінювати код, забезпечуючи ідентичність результатів.

Для виконання ресурсомістких обчислювальних завдань дослідники використовують HPC-кластери (High Performance Computing – високопродуктивні обчислювальні системи), які об'єднують десятки або сотні вузлів (серверів) за допомогою високошвидкісних мереж. Управління розподілом ресурсів і плануванням завдань на HPC-кластерах здійснюється за допомогою планувальників навантаження, зокрема Slurm (Simple Linux Utility for Resource Management), який став де-факто стандартом у наукових обчисленнях. Через його інтерфейси «sbatch» та «srun» користувачі подають пакетні роботи в чергу, вказуючи необхідні ресурси (кількість вузлів, процесорів, обсяг пам'яті, час виконання тощо). Планувальник автоматично визначає оптимальний час для запуску цих завдань на кластері. Документація Slurm містить детальний опис архітектури та функціональних можливостей системи, включно з підтримкою MPI (Message Passing Interface – це стандарт для обміну повідомленнями між процесами у паралельних обчисленнях) для паралельних обчислень та механізмами пріоритезації черг.

Окремим напрямом наукових досліджень є чисельне моделювання та мультифізичні симуляції. У багатьох галузях – від механіки й електромагнетизму до хімічної інженерії – застосовуються спеціалізовані платформи, що дозволяють створювати та розв'язувати різноманітні моделі фізичних явищ. Прикладом такої обчислювальної платформи є відома система COMSOL Multiphysics, яка забезпечує інтегроване середовище для форму-

лювання задач із взаємозалежними фізичними полями, побудови геометрії та сітки, чисельного розв'язання рівнянь, а також розробки прикладних застосунків на основі моделей. Важливо, що подібні інструменти можуть бути інтегровані із згадуваною раніше інфраструктурою відтворюваності (контейнери, HPC, CI/CD), що дозволяє поєднувати емпіричний аналіз і обчислювальне моделювання в єдиному відтворюваному циклі.

На початкових етапах будь-якого дослідження критичною є навігація в науковій літературі. Базові академічні пошукові системи, такі як Google Scholar, забезпечують широкий міждисциплінарний доступ до наукових джерел (статей, дисертацій, монографій тощо), тоді як Semantic Scholar (розроблений компанією Allen AI) додає інтелектуальні можливості семантичного пошуку та автоматичного реферування текстів. Для оцінення контексту цитування корисним є сервіс Scite, який надає «розумні цитати», демонструючи, чи цитати підтверджують, спростовують або просто згадують джерело. Такий підхід сприяє швидкому оцінюванню надійності та впливовості наукових результатів.

Новітні інструменти на основі великих мовних моделей LLM (Large Language Models), зокрема Elicit, здатні автоматизувати пошук релевантної літератури, генерувати стислий огляд (тези) знайдених статей та витягувати зі змісту структуровані дані. Це потенційно прискорює підготовку оглядів літературних джерел, проте потребує прозорого документування використання таких інструментів та обов'язкової перевірки отриманих результатів на основі першоджерел.

Методологічна доброчесність дослідження закладається ще на етапі планування та розробки дизайну дослідження, до початку збору даних. Зокрема, для оглядових досліджень існують стандарти прозорості, такі як PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) – оновлений у 2020 році чек-лист із 27 пунктів та відповідні схеми потоку, які визначають обов'язкові елементи опису методики систематичного огляду (зокрема вибір джерел, критерії включення та виключення, процес відбору й синтезу). Дотримання підходу PRISMA сприяє підвищенню прозорості дослідження та відтворюваності пошукової стратегії, особливо у контексті систематичних оглядів літератури.

За потреби, перед початком основних експериментів здійснюється передреєстрація протоколу дослідження на спеціалізованих платформах (наприклад, у реєстрах OSF (Open Science Framework)) або в базах даних клінічних випробувань. Передреєстрація означає заздалегідь публічне фіксування дослідником свого плану (гіпотез, дизайну, основних аналізів), що дозволяє запобігти неявним систематичним спотворенням результатів під впливом очікувань і підвищує довіру до отриманих висновків.

Важливим аспектом на етапі збору та підготовки даних є походження даних (англ. *data provenance*) – відомості про умови їх отримання, учасників процесу збору та обробки, час виконання робіт, а також застосовані інструменти або програмні скрипти. Стандарт W3C PROV (Provenance) про-

понує універсальну модель подання таких відомостей у вигляді графа «сутність–дія–агент», де вузлами виступають сутності (дані або інші об'єкти), дії (процеси, що змінюють або створюють сутності) та агенти (особи чи організації, які виконують дії). Введення стандартизованого протоколу походження забезпечує відстежуваність результатів, дозволяючи корелювати будь-який вихідний результат із відповідними вхідними даними та процедурами його отримання.

Дотримання принципу фіксації інформації про те, від кого, де, коли та за допомогою яких засобів було згенеровано кожен файл, є критерієм високої якості наукового процесу, що мінімізує ризики непомітних втручань або помилок. У сучасних проєктах дедалі ширше застосовуються автоматизовані системи протоколювання та електронні лабораторні журнали ELN (Electronic Lab Notebook), які реєструють усі проміжні етапи обробки даних у машинозчитуваному форматі, що значно полегшує аудит і повторне використання даних.

Завершальним етапом наукового циклу є публікація та архівація результатів досліджень. Для наукових статей, наборів даних, програмного коду та інших матеріалів забезпечується стабільна ідентифікація за допомогою унікального ідентифікатора DOI. Ідентифікатори DOI реєструються через агентства, такі як Crossref (для публікацій) та DataCite (для даних і програмного забезпечення), і прив'язуються до відповідних метаданих об'єкта. Відповідно до редакційної політики Crossref, одному об'єкту має відповідати один постійний ідентифікатор DOI протягом усього його життєвого циклу, навіть за наявності оновлених версій або перевидань, що забезпечує єдність цитування.

Агентство DataCite визначає детальну схему метаданих та підходи до контролю версій: зокрема, рекомендується присвоювати новий ідентифікатор DOI у разі суттєвих (мажорних) змін вмісту ресурсу або даних, водночас різні версії пов'язуються через поле RelatedIdentifier (наприклад, як «наступна» або «попередня» версія). Для забезпечення довготривалого збереження коду програмного забезпечення дедалі частіше застосовується архівація репозиторіїв у сервісах типу Zenodo (який інтегровано з платформою GitHub, що дозволяє автоматично отримувати ідентифікатор DOI для кожного релізу програмного забезпечення) або в Software Heritage, що присвоює незмінні ідентифікатори SWHID для кожної версії коду та зберігає її у міжнародному репозиторії програмного забезпечення.

Принципи відтворюваності пронизують увесь життєвий цикл наукового дослідження. Зокрема, платформи управління розробкою та безперервною інтеграцією, такі як GitHub у поєднанні з GitHub Actions (CI/CD – Continuous Integration/Continuous Deployment), забезпечують автоматичний запуск тестів, аналізу та побудови проєкту за кожної зміни коду. Це не лише сприяє своєчасному виявленню помилок, але й гарантує повторне генерування всіх артефактів (таблиць, графіків, звітів) для кожної версії проєкту з метою перевірки їхньої узгодженості.

Сучасна наука функціонує як інтегрована екосистема, у якій етапи планування дослідження (протоколи, PRISMA, предреєстрація), підготовка даних і чисельний аналіз (Jupyter-ноутбуки, контейнеризація, HPC-планувальники), інтелектуальна навігація в літературі (наукові пошукові системи, AI-асистенти) та поширення результатів (відкриті матеріали з кодом DOI, інтерактивні публікації) пов'язані у єдиний, стандартизований і відтворюваний процес.

Дотримання принципів FAIR, відтворюваних обчислень і прозорої ідентифікації забезпечує перевірюваність наукових висновків, полегшує повторне використання результатів і сприяє кумулятивному розвитку науки.

6.2 Технологічна інфраструктура сучасних наукових досліджень

Основою сучасних методів комп'ютерних обчислень є модульний підхід, за якого різні класи програмних систем відповідають за окремі аспекти дослідницького процесу, а їхнє інтегроване використання забезпечує формування цілісного робочого процесу.

Типи обчислювальних систем та інструментів:

1. Інтерактивні середовища для аналізу даних є платформами, що забезпечують інтерактивну роботу з кодом і даними. Зокрема, екосистема Jupyter (включно з Jupyter Notebook та JupyterLab) стала де-факто стандартом формату наукового записника: в одному документі можна виконувати код різними мовами програмування (Python, R, Julia), миттєво отримувати та візуалізувати результати, а також оформлювати пояснювальний текст. Інтерактивність таких середовищ сприяє експериментуванню з даними та оперативному удосконаленню моделей. Подібні рішення існують і в інших програмних середовищах: зокрема, у програмному середовищі статистичних обчислень R традиційно використовують R Markdown та RStudio (Posit) для створення відтворюваних звітів, а в системі Julia застосовують Pluto notebooks. Інформаційна система Jupyter є універсальною і підтримує численні мови програмування через систему обчислювальних ядер (kernels). Науковий стек Python зазвичай доповнює Jupyter відповідними бібліотеками, спеціально розробленими для наукових обчислень: NumPy (робота з багатовимірними масивами та лінійною алгеброю), SciPy (чисельні методи: оптимізація, інтегрування, статистичний аналіз, розв'язання диференціальних рівнянь), Pandas (обробка табличних даних і часових рядів), Matplotlib та Seaborn (побудова графіків), а також Scikit-learn (бібліотека алгоритмів машинного навчання). Комбіноване використання Jupyter та Python із зазначеними пакетами формує універсальне середовище наукового програмування, яке є достатнім для більшості типових завдань аналізу даних та моделювання.

2. Пакети для статистичного аналізу є інтегрованими програмними системами. Вони переважно орієнтовані на опрацювання даних у соціальних, поведінкових і медичних науках, економіці та суміжних галузях, з особли-

вою увагою до класичної статистики та регресійного моделювання. Прикладами таких систем є IBM SPSS Statistics, SAS/STAT та Stata. Пакет SPSS забезпечує зручний графічний інтерфейс для виконання описової та інференційної статистики, аналізу дисперсії ANOVA (Analysis of Variance), регресійного аналізу, побудови таблиць і прогнозування, що робить його популярним серед дослідників, які не мають глибоких навичок програмування. Система SAS, особливо її модуль SAS/STAT, містить широкий спектр високопродуктивних статистичних процедур, зокрема генералізовані лінійні та змішані моделі, а також методи обробки великих вибірок із підтримкою паралельних обчислень. Система Stata є комплексним інструментом, що поєднує можливості управління даними, економетричного аналізу, графічного відображення та генерації звітів. Важливою особливістю Stata є стимулювання відтворюваності досліджень шляхом використання скриптів команд (do-files) замість виконання операцій вручну. Попри різноманітність функціональних можливостей і спеціалізацій, усі ці пакети характеризуються наявністю широкого набору готових статистичних методів, а також акцентом на перевірку припущень моделей, проведення діагностик та візуалізацію результатів.

3. Платформи для моделювання, симуляції та мультифізичних розрахунків являють собою спеціалізоване програмне забезпечення, призначене для формалізації математичних моделей реальних об’єктів та явищ і їхнього розв’язання чисельними методами. Окрім COMSOL Multiphysics, до цієї категорії належать інші системи автоматизованого інженерного аналізу CAE (Computer-Aided Engineering) та CFD (Computational Fluid Dynamics), зокрема Ansys, ABAQUS, OpenFOAM (відкритий програмний пакет для обчислювальної гідродинаміки) та інші. Характерною особливістю цих інструментів є підтримка широкого спектра фізичних доменів, таких як механіка твердого тіла, гідродинаміка, електромагнетизм, теплообмін, хімічні реакції тощо, а також наявність засобів для побудови геометрії та генерації обчислювальної сітки скінченних елементів. Крім того, вони містять готові обчислювальні модулі, які забезпечують паралельне розв’язання систем рівнянь великої розмірності. Більшість таких платформ надає інтерфейси для автоматизації процесів і підтримує користувацькі скрипти (зокрема, COMSOL має API для MATLAB та Python), що дозволяє інтегрувати симуляції у загальний робочий процес наукового дослідження. Наприклад, дослідник може здійснити попередню обробку даних і підготовку параметрів моделі в Jupyter-нотбуці, ініціювати розрахунки в COMSOL за допомогою Python API та отримати результати назад у ноутбук для подальшого аналізу, фіксуючи таким чином усі етапи в одному відтворюваному сценарії.

4. Обчислювальна інфраструктура високопродуктивних обчислень HPC (High-Performance Computing) та менеджери задач є інструментами, що забезпечують ефективне використання апаратних ресурсів, особливо у разі виконання обчислень великого обсягу. HPC-кластери, як було зазначено раніше, є комплексами, що складаються з численних взаємоз’єднаних

вузлів, які здатні паралельно виконувати тисячі обчислювальних потоків. Окрім планувальника Slurm, використовуються також інші системи управління чергами задач, такі як PBS/Torque, LSF, SGE, проте Slurm здобув широку популярність завдяки відкритому коду та високій гнучкості. Окрім менеджера ресурсів, екосистема HPC містить бібліотеки для паралельного програмування (зокрема MPI – Message Passing Interface, OpenMP для багатопотокового виконання на спільній пам'яті, CUDA для обчислень на графічних процесорах GPGPU тощо), а також системи для моніторингу та управління чергами. Для ефективного використання обчислювальних ресурсів користувачу необхідно коректно сформувати скрипт завдання (англ. *job script*) – текстовий файл, у якому визначаються вимоги до ресурсів та послідовність команд для виконання. Нижче наведено приклад фрагменту скрипта для Slurm:

```
#!/bin/bash
#SBATCH --job-name=example    # Назва задачі
#SBATCH --output=res.txt      # Файл для виводу
#SBATCH --ntasks=1            # Кількість задач (MPI процесів)
#SBATCH --cpus-per-task=4     # Кількість CPU на задачу (для мультипо-
токових програм)
#SBATCH --mem=8G              # Обсяг пам'яті
#SBATCH --time=01:00:00       # Ліміт часу (години:хвилини:секунди)

module load python/3.10       # Завантаження модуля Python (приклад)
python analysis.py            # Запуск обчислювального скрипта.
```

Цей скрипт завдання подається до системи керування ресурсами за допомогою команди «sbatch», після чого планувальник Slurm розміщує задачу в чергу та ініціює її виконання, щойно відповідні обчислювальні ресурси стають доступними. Використання HPC-інфраструктури дає змогу дослідникам розв'язувати задачі, які перевищують обчислювальні можливості окремого комп'ютера. До таких задач належать, зокрема, великомасштабне статистичне моделювання або навчання глибоких нейронних мереж, що потребують значних обчислювальних ресурсів та ефективної паралелізації.

5. Керування програмними середовищами та забезпечення відтворюваності результатів дослідження передбачає використання інструментів для ізоляції програмного оточення, управління програмними залежностями та автоматизації процесів збирання й розгортання програмних проєктів. Сучасні підходи у цій сфері орієнтовані на використання технологій контейнеризації, серед яких найбільш поширеним є Docker. Ця платформа дозволяє створювати легкі віртуальні середовища – контейнери, – які містять операційну систему, необхідні бібліотеки та інші компоненти, потрібні для коректного виконання програмного коду. Контейнери гарантують консистентну роботу застосунку незалежно від апаратної чи програмної конфігурації, за наявності рушія Docker, що значно зменшує явище «нестабільності оточення» («it works on my machine»). Конфігурація вмісту контейнера визначається за допомогою спеціального текстового файлу – Dockerfile, який містить інструкції для побудови контейнерного образу. Наприклад,

Dockerfile для базового наукового проєкту на Python може мати такий вигляд:

```
FROM python:3.10-slim

# Встановлення необхідних пакетів
RUN pip install numpy scipy pandas scikit-learn matplotlib

# Копіювати локальні файли (код, дані) в образ
COPY . /app

WORKDIR /app.
```

У наведеному прикладі базовим шаром контейнерного образу слугує офіційний компактний образ Python версії 3.10. На його основі за допомогою пакетного менеджера pip встановлюються необхідні бібліотеки (зокрема, NumPy, SciPy, pandas, scikit-learn, Matplotlib), після чого локальний каталог із проєктом копіюється у внутрішню директорію контейнера /app. Побудова такого образу (наприклад, командою «docker build -t project-image .») та подальший запуск контейнера гарантують створення ідентичного програмного середовища з усіма необхідними версіями залежностей, незалежно від середовища виконання. Окрім системи Docker, широке застосування має також платформа Docker Compose, яка дає змогу визначати та одночасно запускати багатокомпонентні системи – наприклад, у випадках, коли проєкт складається з кількох взаємодіючих контейнерів (база даних, серверна частина, модуль обробки тощо). Для масштабованого розгортання контейнеризованих застосунків у хмарному середовищі або на кластерних системах використовується система Kubernetes, яка забезпечує автоматизоване оркестрування контейнерів, балансування навантаження, управління відмовостійкістю та масштабування.

6. CI/CD та керування науковими проєктами охоплюють інструменти, призначені для автоматизованого контролю якості програмного коду, забезпечення відтворюваності та розгортання результатів обчислень. Концепція CI (Continuous Integration – безперервна інтеграція) передбачає автоматичне виконання заздалегідь визначених дій під час кожної інтеграції змін у репозиторій (наприклад, під час «push» нового коду). До типових кроків належать збирання проєкту, запуск модульних тестів, оцінення покриття тестами, а також статичний аналіз коду. CD (Continuous Deployment або Continuous Delivery) стосується процесів автоматизованого розгортання, що виконуються після успішного проходження усіх перевірок. Це може містити публікацію нової версії програмного пакета, оновлення документації або налаштування експлуатаційного середовища вебсервісу. У контексті наукових обчислень CI/CD-підходи, реалізовані за допомогою таких систем, як GitHub Actions, GitLab CI або Jenkins, що дозволяють автоматизувати повторювані дослідницькі процедури. Наприклад, можна налаштувати автоматичне оновлення даних із зовнішніх джерел, повторний запуск моделювання з новими параметрами або збереження вихідних результатів обчислень (графіків, таблиць тощо) у централізованому сховищі. Подібна

автоматизація сприяє перевірці відтворюваності наукового проєкту: для отримання ідентичних результатів достатньо клонувати репозиторій та ініціювати CI-процес, який відтворює повний ланцюг обчислень із нуля. В академічному середовищі широке визнання отримав принцип: «Усе, що не автоматизовано, з високою ймовірністю буде втрачено». Згідно із рекомендаціями, викладеними, зокрема, у «Десяти простих правилах для забезпечення відтворюваності досліджень», важливо застосовувати системи контролю версій, документувати усі ключові етапи розробки, фіксувати генератори псевдовипадкових чисел та інші чинники, що впливають на підсумкові результати.

7. У сучасному науковому процесі, окрім технічних інструментів, важливу роль відіграють концептуальні стандарти та методологічні засади, які є визначальними під час розробки програмних рішень для досліджень. Ключове місце серед них посідають принципи FAIR, що регламентують управління науковими даними. Акронім FAIR розкриває фундаментальні характеристики цифрових наукових об'єктів: можливість їх знаходження (англ. *Findability*), доступність (англ. *Accessibility*), інтероперабельність (англ. *Interoperability*) та придатність до повторного використання (англ. *Reusability*). Сформульовані вперше у 2016 році консорціумом дослідників, ці принципи не нав'язують конкретних технологічних імплементацій, а слугують загальними орієнтирами для наукової спільноти, а саме:

– Можливість знаходження (англ. *findability*) передбачає наявність у даних глобально унікального та персистентного ідентифікатора (наприклад, DOI), а також їх опис за допомогою розширених метаданих, що індексуються у пошукових ресурсах.

– Доступність (англ. *accessibility*) потребує, щоб метадані залишалися доступними навіть за відсутності самих даних, а самі дані розміщувалися у публічних репозиторіях із чітко визначеними протоколами доступу.

– Інтероперабельність (англ. *interoperability*) наголошує на необхідності використання загальновизнаних форматів даних та семантичних стандартів (онтологій, контрольованих словників), що забезпечує можливість інтеграції різних наборів даних.

– Придатність до повторного використання (англ. *reusability*) означає, що дані мають супроводжуватися вичерпною інформацією про походження, ліцензійні умови та відповідати прийнятим у відповідній галузі стандартам якості, що уможливлює їх коректну інтерпретацію та повторне застосування іншими дослідниками.

Дотримання принципів FAIR стає дедалі більш поширеною вимогою з боку наукових фондів та видань, оскільки це суттєво підвищує ефективність наукової комунікації та довгострокову цінність дослідницьких даних.

8. Для забезпечення прозорості, повноти та відтворюваності наукових результатів у різних дослідницьких галузях розроблено низку стандартизованих протоколів звітності. Ці протоколи визначають структуру та обов'язкові компоненти наукової публікації, а саме:

– Для оглядових досліджень провідним стандартом є PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Його актуальна версія PRISMA 2020 містить контрольний список із 27 пунктів та стандартизовані шаблони діаграм потоку (англ. *flow diagrams*), що візуалізують процес відбору джерел для систематичного огляду чи мета-аналізу. Існує також спеціалізоване розширення PRISMA-S, яке регламентує детальне звітування щодо стратегій інформаційного пошуку, включно з описом джерел, синтаксисом запитів та часовими рамками.

– Для первинних досліджень застосовуються інші стандарти залежно від дизайну дослідження. Серед них найпоширенішими є: CONSORT (Consolidated Standards of Reporting Trials) – для рандомізованих контрольованих клінічних випробувань; STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) – для обсерваційних (спостережуваних) епідеміологічних досліджень; ARRIVE (Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments) – для доклінічних досліджень на тваринах. Дотримання цих настанов гарантує повноту та ясність подання методології і результатів. У контексті обчислювальних методів це означає, що програмні інструменти також мають бути інтегровані у звітність. Зокрема, у розділі «Методи» необхідно детально описувати використане програмне середовище, бібліотеки та їх версії. Деякі наукові видання «вимагають» також надання фрагментів коду або посилань на відкриті репозиторії, які містять код для аналізу даних, що є важливою складовою відтворюваності дослідження.

9. Процедури попередньої реєстрації досліджень та отримання етичних дозволів є невід'ємними компонентами сучасної наукової практики, що підвищують прозорість та достовірність результатів.

Попередня реєстрація протоколу дослідження. Оприлюднення детального плану дослідження до збору та аналізу даних (наприклад, на спеціалізованих платформах OSF Registries чи ClinicalTrials.gov) є ефективним механізмом запобігання упередженому аналізу. Зокрема, це мінімізує ризики маніпулятивного підбору даних та вибіркового звітування про підтверджені гіпотези (HARKing – Hypothesizing After the Results are Known). Провідні наукові видання активно підтримують формат публікацій Registered Reports. Ця модель передбачає, що рукопис, який містить вступ та детальну методологію, проходить етап рецензування та отримує принципове схвалення до публікації ще до отримання результатів. Таким чином, видавництво зобов'язується опублікувати статтю незалежно від того, чи будуть результати статистично значущими («позитивними»), за умови строгого дотримання автором зареєстрованого протоколу. Цей підхід ефективно протидіє публікаційному упередженню (англ. *publication bias*) – тенденції публікувати переважно позитивні результати.

Етична експертиза. Для досліджень за участю людей або тварин обов'язковою є процедура отримання схвалення від відповідних етичних комісій IRB (Institutional Review Boards). Програмні інструменти можуть

виконувати допоміжні функції у підготовці документації для етичної експертизи, а також у забезпеченні конфіденційності та захисту даних учасників шляхом застосування методів анонімізації, псевдонімізації або хешування. З погляду відтворюваності, у фінальній публікації необхідно чітко документувати усі етапи: надавати ідентифікатор попередньої реєстрації (DOI або реєстраційний номер) та вказувати номер і дату протоколу етичного схвалення, виданого відповідною інституцією.

10. Для наукових досліджень, що містять розробку та валідацію предикативних моделей, особливо із застосуванням методів машинного навчання, існують спеціалізовані стандарти звітності та оцінки якості. Ці настанови доповнюють загальні вимоги та забезпечують прозорість і відтворюваність саме обчислювальних експериментів.

У галузі біомедичних наук нещодавно було подано оновлені інструктивні документи:

– TRIPOD+AI (Transparent Reporting of a Multivariable Prediction Model for Individual Prognosis Or Diagnosis): адаптовані для моделей ШІ настанови, що регламентують прозоре звітування про розробку та валідацію моделей індивідуального прогнозу чи діагностики.

– PROBAST+AI (Prediction model Risk Of Bias Assessment Tool): інструмент для оцінення ризику упередженості у предикативних моделях, що використовують елементи ШІ.

Ці стандарти встановлюють детальний перелік інформації, яка має бути подана у публікації. До ключових елементів звітності належать:

– Дані. Детальний опис вибірки, критерії включення/виключення, а також чітке обґрунтування її поділу на навчальний (англ. *training*), валідаційний (англ. *validation*) та тестовий (англ. *testing*) набори.

– Процедури валідації. Опис методів внутрішньої валідації (наприклад, крос-валідації) та результатів зовнішньої валідації на незалежних наборах даних для оцінки генералізаційної здатності моделі.

– Метрики та невизначеність. Звітування про використані метрики якості (наприклад, точність, чутливість, специфічність, AUC-ROC) із зазначенням довірчих інтервалів.

– Деталі моделі та навчання. Вичерпний опис архітектури моделі (наприклад, градієнтний бустинг, глибока нейронна мережа), процедури налаштування гіперпараметрів, застосованих методів регуляризації для запобігання перенавчанню (англ. *overfitting*), а також інформація про використання попередньо навчених моделей (англ. *transfer learning*).

– Відтворюваність. Точна ідентифікація використаних програмних засобів, бібліотек та їхніх версій. Практична реалізація цих вимог передбачає систематичне документування експериментів, наприклад, шляхом ведення журналів у Jupyter/R Markdown ноутбуках, використання файлів конфігурації, а також застосування систем контролю версій для відстеження змін у наборах даних та параметрах моделей. Дотримання настанов

TRIPOD+AI та PROBAST+AI забезпечує коректну інтерпретацію моделі, мінімізує ризик прихованих систематичних помилок та підвищує довіру до наукових висновків, отриманих на її основі.

11. Регуляторні політики використання ШІ та питання наукової доброчесності. Стрімка інтеграція інструментів на основі ШІ в наукову діяльність зумовила виникнення нових етичних дилем, зокрема щодо визначення авторства наукових праць. Ключове питання полягає в тому, чи можуть програмні агенти, які роблять значний внесок у написання тексту або аналіз даних, вважатися співавторами. Станом на 2024–2025 роки провідні міжнародні організації, що регулюють етику наукових публікацій, сформулювали консенсусну негативну позицію з цього приводу, зокрема:

– Комітет з етики публікацій (COPE) офіційно заявив, що інструменти ШІ не можуть бути визнані авторами, оскільки вони не здатні нести відповідальність за достовірність та цілісність дослідження, а також не є суб'єктами авторського права.

– Міжнародний комітет редакторів медичних журналів (ICMJE) в оновлених рекомендаціях підкреслив, що генеративні моделі ШІ не відповідають фундаментальним критеріям авторства. Зокрема, вони не можуть здійснювати оригінальний інтелектуальний внесок, гарантувати точність поданих даних чи брати участь у процесі рецензування та відповіді на критичні зауваження.

Водночас використання ШІ як допоміжного інструменту під час підготовки рукопису не забороняється, проте потребує повної прозорості. Наукові журнали все частіше включають у свої політики вимогу декларувати використання таких систем. Автори зобов'язані у розділі «Методи» або «Подяки» детально описати, які саме інструменти ШІ застосовувалися та для яких завдань (наприклад, «Для вдосконалення стилістики та граматичної структури чорнових версій рукопису було використано мовну модель ChatGPT. Усі згенеровані пропозиції були критично перевірені, відредаговані та затверджені авторами»).

Принципово важливим залишається положення про те, що виключна відповідальність за весь зміст публікації, включно з точністю даних та коректністю висновків, покладається на авторів-людей. Для дотримання принципів наукової доброчесності дослідникам рекомендується зберігати історію взаємодії з ШІ-системами (введені запити та отримані відповіді) для внутрішнього аудиту та перевіряти всі фактологічні твердження, згенеровані ШІ, за авторитетними першоджерелами. Такий підхід мінімізує ризик поширення дезінформації, що може виникати внаслідок так званих «галюцинацій» ШІ (фактологічних помилок або фабрикацій).

Таким чином, наукова спільнота стоїть перед завданням розробки збалансованих регуляторних рамок, які б, з одного боку, не стримували технологічний прогрес і використання корисних інструментів автоматизації, а з іншого – забезпечували дотримання високих стандартів академічної доброчесності, якості та оригінальності наукових праць.

6.3 Методологія супроводження наукового дослідження

На основі розглянутих теоретичних принципів і наявних інструментів, можна побудувати послідовний відтворюваний робочий процес, що охоплює всі стадії дослідження – від постановки проблеми до публікації результатів. Практична реалізація цих етапів із використанням спеціалізованих програмних комплексів може бути розглянута на прикладі демонстраційного сценарію:

1. Формулювання дослідницького питання та попередній огляд літератури.

На початковому етапі дослідження визначається чітке наукове питання або гіпотеза, а також формуються критерії для пошуку та відбору літературних джерел. Використання спеціалізованих програмних засобів дозволяє ефективно орієнтуватися у значних масивах наукових публікацій. Зокрема, застосовуються інтелектуальні асистенти, такі як Elicit (онлайн-сервіс на основі мовних моделей, що пропонує релевантні статті, формує їхні короткі описи та виокремлює ключові дані), а також платформи Connected Papers та ResearchRabbit, які візуалізують зв'язки між науковими працями та сприяють ідентифікації основних досліджень, тематичних кластерів, попередні розробки та подальший розвиток ідей. Додатково пошук здійснюється за допомогою універсальних систем, зокрема Google Scholar (з метою максимально широкого охоплення дисциплін) та Semantic Scholar (для семантично орієнтованого пошуку). Результатом цього етапу має стати попередній список літератури та проєкт оглядового протоколу.

З метою забезпечення прозорості та відтворюваності пошукової стратегії дослідник дотримується міжнародних стандартів, зокрема розширення PRISMA-S, яке регламентує документування пошукових процедур. На цьому етапі фіксуються всі використані джерела інформації (бази даних, пошукові запити, дати проведення пошуку) з подальшою побудовою потокової діаграми, яка відображає кількість знайдених, включених і виключених робіт із зазначенням причин.

Контроль якості полягає у перевірці того, наскільки повним був пошук літератури (за потреби із залученням бібліотекарів чи експертів), а також у повторному проведенні пошуку іншим дослідником за тим самим протоколом, щоб упевнитися в отриманні однакових результатів. Такий підхід відповідає вимогам відтворюваності, визначеним стандартом PRISMA-S.

2. Передреєстрація та етичні аспекти.

До початку збору нових даних чи проведення аналітичних процедур дослідник формує протокол – офіційний документ, що містить опис запланованих методів, показників, критеріїв оцінювання та інших ключових елементів дослідження. Рекомендовано здійснити його реєстрацію у відкритому репозиторії. Зокрема, для цього використовуються OSF Registries (ініціатива Center for Open Science), які надають шаблони для різних типів досліджень, зокрема систематичних оглядів (на основі PRISMA), експериментальних

досліджень та інших типів наукових робіт. Інструмент підтримує завантаження протоколу у форматах PDF/Word або заповнення онлайн-форми, після чого документ отримує часову мітку та унікальний ідентифікатор DOI. Це забезпечує можливість незалежної перевірки того, що відповідні гіпотези та аналітичні процедури були сформульовані до отримання результатів, а не адаптовані під них.

У випадках, коли дослідження потребує додаткових дозволів (наприклад, інформованої згоди учасників та дотримання принципу конфіденційності у роботі з людьми, чи дотримання норм гуманного поводження у разі експериментів на тваринах), дослідник отримує всі необхідні схвалення й відображає відповідну інформацію в протоколі.

На етапі контролю якості перевіряється, чи протокол доступний для зовнішніх спостерігачів (оптимально – через ідентифікатор DOI або посилання із режимом «read-only»), а також чи враховані всі локальні нормативні вимоги. Наприклад, для клінічних випробувань це може містити реєстрацію у національному реєстрі та зазначення номера комітету з етики безпосередньо у тексті протоколу.

3. План управління даними DMP (Data Management Plan) та дотримання принципів FAIR.

До початку збору даних необхідно визначити стратегію їх збереження, організації та надання науковій спільноті. У більшості випадків грантодавці жадають розробки DMP – документа, що містить опис типів даних, форматів файлів, передбачених метаданих, місць зберігання й архівування, політики доступу та ліцензування, заходів безпеки і строків зберігання. Для створення таких документів використовуються спеціалізовані онлайн-сервіси, зокрема DMPonline (Digital Curation Centre, UK) та DMPTool, які надають шаблони, адаптовані під вимоги різних організацій, і допоміжні рекомендації щодо врахування ключових аспектів управління даними.

Обов’язковим компонентом DMP є забезпечення відповідності принципам FAIR:

– знаходження (розміщення даних у репозиторії з ідентифікатором DOI, опис за допомогою ключових слів і стандартизованих метаданих);

– доступність (відкритий доступ, режим ембарго або обмежений доступ із зазначенням ліцензії, наприклад, CC BY 4.0 чи ODbL для наборів даних);

– інтероперабельність (використання відкритих форматів й мовних стандартів для метаданих, застосування онтологій);

– повторне використання (достатній опис даних, контроль їхньої якості, надання прикладів застосування).

Окрім даних, DMP охоплює також програмні інструменти: місце зберігання вихідного коду, умови його доступності, правила контролю версій. На етапі контролю якості доцільно залучати незалежного фахівця з управління даними для рецензування DMP. Важливо перевірити актуальність вибраних форматів (наприклад, пріоритетність CSV/JSON перед застарі-

лими XLS), уникати використання закритих форматів із потенційними обмеженнями доступу в майбутньому. Мінімальний набір метаданих для кожного датасету має містити: автора(ів), афіліацію, дату збору, географічне охоплення (за потреби), версію датасету, унікальний ідентифікатор, а також зв'язок із відповідними публікаціями чи програмним кодом. Існують міжнародні ініціативи, зокрема GO FAIR, а також автоматизовані інструменти на зразок FAIR Evaluator, які дають змогу оцінити рівень відповідності конкретного датасету вимогам FAIR та визначити напрями для його вдосконалення.

4. Збір даних та протоколювання їх походження.

На етапі надходження даних (експериментальні вимірювання, опитування чи завантаження із зовнішніх джерел) необхідно забезпечити їх належне зберігання та документування процесу отримання. У випадку генерації даних у лабораторних умовах доцільно застосовувати електронні лабораторні журнали ELN, які у цифровому форматі дають змогу вести записи щодо кожного експерименту, додавати супровідні файли, а також автоматично фіксувати часові мітки та авторство. Деякі системи (наприклад, LabArchives, ELN ODS) підтримують стандартизовані формати експорту, що полегшує подальшу інтеграцію даних у дослідницькі робочі процеси. У разі збору даних з автоматизованих сенсорних систем, під час експериментальних досліджень, ключовим завданням є оперативне перенесення інформації до централізованого сховища з налаштованим резервним копіюванням і контролем версій. Для цього, як правило, використовуються комбінації реляційних і нереляційних баз даних (SQL/NoSQL) або сховища об'єктів (наприклад, Amazon S3, Nextcloud) для збереження «свіжих» даних.

Важливою складовою є протоколювання усіх етапів обробки даних. Кожна трансформація – фільтрація, очищення від шумів, конвертація форматів – має бути або автоматизована за допомогою скриптів, збережених у репозиторії, або детально описана вручну із зазначенням параметрів. В іншому разі відтворення дослідницького процесу стає неможливим. У цьому контексті особливого значення набуває концепція походження даних (англ. *data provenance*). Для ключових результатів доцільно будувати «граф походження», який демонструє зв'язки між початковими даними, проміжними операціями та фінальними результатами (наприклад, таблицями результатів чи візуалізаціями).

Реалізація такого підходу можлива шляхом використання спеціалізованих інструментів (наприклад, DataLad для керування даними з підтримкою трасування їх походження, бібліотека Prov для Python, що реалізує стандарт W3C PROV, або функціонал систем керування робочими процесами), а також через ведення детальних журналів обробки даних. Згідно зі стандартом W3C PROV, запис про походження має містити:

- сутності (англ. *entities*) – файли чи набори даних;
- дії (англ. *activities*) – процеси (наприклад, виконання скрипта чи застосування функції);

– агенти (англ. *agents*) – особи або програми, що виконують дію.

Приклад запису у форматі PROV:

```
activity(act1, 2025-09-01T10:00:00, 2025-09-01T10:05:00)
entity(data1)
agent(person#Alice)
wasGeneratedBy(entity=clean_data.csv, activity=act1)
used(activity=act1, entity=raw_data.csv)
wasAssociatedWith(activity=act1, agent=person#Alice).
```

Такі триплети можуть кодуватися у певні формати типу JSON, TTL (Provenance Ontology), XML тощо. Попри те, що настільки деталізоване документування може здаватися надмірним, у складних дослідницьких проєктах воно суттєво підвищує рівень відтворюваності та прозорості результатів, щонайменше для найбільш критичних даних.

Контроль якості передбачає перевірку того, що на жодному етапі обробки даних не залишилося дій, виконаних вручну, без відповідного опису. Якщо ж ручне втручання було необхідним (наприклад, видалення об'єкта із зображення у графічному редакторі чи виправлення очевидної помилки у файлі даних), цей крок має бути задокументований у лабораторному журналі або у файлі README. Інакше він перетворюється на «чорну скриньку», що підриває принцип відтворюваності.

5. Обчислювальне середовище та керування робочими процесами.

Під час аналізування зібраних даних особливо важливо правильно організувати програмне середовище та забезпечити автоматизацію аналітичних процедур. Першим кроком зазвичай є створення репозиторію проєкту (наприклад, на GitHub чи GitLab), де зберігають вихідний код, конфігураційні файли та, за можливості, невеликі або тестові набори даних. Великі масиви даних зберігаються окремо, проте у репозиторії варто додати скрипти для їх автоматичного завантаження.

Для опису програмного середовища застосовуються менеджери пакетів. У Python це може бути файл requirements.txt (для pip) або environment.yml (для conda), де містяться усі прикладні бібліотеки з конкретними версіями. Оптимальною практикою є використання контейнеризації: підготовка Dockerfile дозволяє відтворити однакове середовище на будь-якій системі. Однією з ключових вимог є забезпечення автоматизованого виконання аналітичних процедур. У найпростішому випадку це може бути єдиний скрипт (наприклад, analysis.py), який послідовно виконує всі кроки – від підготовки та очищення даних до статистичного аналізу, візуалізації та формування вихідних результатів (таблиць, рисунків, звітів).

У більшості досліджень процес виконання аналітичних процедур складається з декількох взаємопов'язаних етапів – підготовки даних, моделювання за кількома сценаріями, статистичного оцінення, візуалізації. Для керування такими складними робочими процесами застосовуються спеціалізовані workflow-системи, а саме:

– Snakemake описує робочий процес у вигляді правил, подібних до Makefile, але орієнтованих на наукові дані. Кожне правило містить «input»

(вхідні файли), «output» (цільові файли) та «shell» або «script» (команди, що перетворюють вхідні дані на результати). Система автоматично формує граф залежностей і виконує лише ті кроки, які потребують оновлення.

– Nextflow пропонує подібний підхід, де робочий процес складається з процесів із визначеними вхідними та вихідними даними. Платформа підтримує інтеграцію з контейнерними технологіями (Docker, Singularity) для ізольованого виконання та сумісність з менеджерами пакетів (Conda). Крім того, Nextflow має гнучку інтеграцію з хмарними інфраструктурами.

Обидві системи забезпечують можливість паралельного виконання кроків за відсутності залежностей, а також масштабування на обчислювальних кластерах і в хмарних середовищах (наприклад, Snakemake може надсилати задачі у Slurm, тоді як Nextflow – запускає процеси через AWS Batch або Kubernetes).

Для прикладу спрощений варіант файлу Snakefile:

```
rule preprocess:
    input: "data/raw.csv"
    output: "data/clean.csv"
    shell: "python scripts/clean.py {input} {output}"

rule analyze:
    input: "data/clean.csv"
    output: "results/analysis.png"
    shell:  "python  scripts/analyze.py  --input  {input}  --output
{output}"

rule report:
    input: "results/analysis.png"
    output: "results/report.pdf"
    shell:  "python  scripts/make_report.py  --fig  {input}  --out
{output}".
```

У наведеному прикладі робочий процес визначає три основні етапи:

– «preprocess» – приймає вхідні дані у форматі CSV, виконує скрипт попередньої обробки (очищення) та формує «чистий» CSV;

– «analyze» – отримує на вході очищені дані та генерує вихідний графік у форматі PNG;

– «report» – створює підсумковий PDF-звіт, що включає згенеровані результати аналізу та ілюстрації.

Система Snakemake автоматично формує залежності між етапами: спочатку виконується «preprocess» (для отримання файлу clean.csv), потім – «analyze», після чого – «report». У разі зміни вхідного файлу відповідні залежні результати перебудовуються автоматично. Водночас у Snakefile можна додатково визначити параметри обчислювального середовища (наприклад, завантаження модулів, активацію середовища Conda, шляхи до інтерпретатора тощо). Результатом виконання Workflow є відтворюваний набір результатів із детальною задокументованою інформацією про опис кожного кроку.

Після отримання результатів часто виникає потреба оприлюднити інтерактивні матеріали. Для цього застосовується комбінація Jupyter Book та

Binder. Перший інструмент дає змогу із Markdown- та Jupyter-ноутбуків сформувати статичний сайт із кодом, формулами та візуалізаціями, тоді як Binder надає можливість інтерактивного відтворення. Завдяки цьому читач може натиснути кнопку «Запустити» (Live Binder), що ініціює розгортання хмарного середовища на основі Docker-образу або Repo2docker і відкриває Jupyter Notebook/Lab для роботи із матеріалами. Наприклад, після публікації статті автор може супроводити її Jupyter Book з покроковим описом аналізу, а Binder надасть дослідникам можливість змінювати параметри й одразу спостерігати за впливом цих змін на результати.

Контроль якості здійснюється за допомогою тестових запусків. Базовим підходом є виконання процедури «dry run» – «чистого» прогону всього аналізу. Оптимально, якщо перевірку здійснює незалежний колега: він розміщує дані та код у новому каталозі або контейнері, після чого запускає Workflow (через Snakemake, Nextflow чи скрипт). Якщо виконання не вдається, це означає, що середовище або інструкція містить прогалини (наприклад, залежність від системної бібліотеки, відсутність шрифтів для графіків чи налаштувань змінних середовища). Такі недоліки підлягають обов'язковому усуненню.

Застосовується також принцип «відтворення з нуля» (англ. *clean-room reproduction*): перевіряється можливість запуску аналізу на іншій операційній системі (наприклад, на Windows, якщо розробка здійснювалася у Linux), а також на кластерних системах. Важливою складовою є програмне тестування – юніт-тести основних функцій аналізу. Це гарантує, що після оновлення коду не виникають нові помилки і забезпечує сталість отриманих результатів.

6. Підготовка та очищення даних і контроль їх якості.

Якість вхідних даних напряму впливає на достовірність результатів, тому підготовку й очищення даних, хоча це й частина загального процесу, варто розглядати окремо. Після первинного збирання даних (етап 4) та налаштування обчислювального середовища (етап 5) виконується процедура «data cleaning». Вона містить: видалення або інтерполяцію пропущених значень, усунення явних помилок (некоректні формати, значення поза межами фізично можливих), нормалізацію або агрегування показників, приведення змінних до єдиних одиниць вимірювання. Усі ці дії мають бути реалізовані у формі скриптів або Jupyter-ноутбуків, що забезпечує прозорість та відтворюваність обробки.

Для табличних даних доцільно застосовувати правила валідації. Вони можуть бути реалізовані, зокрема, за допомогою бібліотек Pandera (для Pandas) або Great Expectations. Прикладами таких правил є: «значення у колонці X мають перебувати у межах 0–100 %», «ідентифікатори у полі ID мають відповідати заданому регулярному виразу», «для кожного значення змінної *A* показник *B* не повинен перевищувати визначений поріг». Цей напрям традиційно описується терміном «контроль якості даних» (Data QA/QC).

Після завершення очищення бажано сформувати звіти про стан даних, що містять статистику пропусків, розподілів, викидів. У випадках обмежених вибірок можливий додатковий ручний перегляд окремих спостережень для перевірки їхньої правдоподібності. Кожен крок цього етапу потрібно оформити так, щоб він був частиною автоматизованого та відтворюваного процесу аналізу.

Для забезпечення повноти розуміння структури даних майбутніми користувачами створюється словник даних (англ. *data dictionary*) – таблиця або документ, де подано перелік змінних (колонок), їх типи, одиниці виміру, значення за замовчуванням, опис змінних, допустимі діапазони або категорії. Такий словник може бути оформлений у вигляді CSV/Excel-файлу або Markdown-таблиці у репозиторії. Наявність словника у перспективі значно полегшує повторне використання даних як іншими дослідниками, так і самим автором.

Контроль якості цього етапу полягає насамперед у перевірці, що процедура очищення не призвела до появи нових помилок. Для цього використовується подвійний підхід:

– порівняння результатів автоматизованого очищення з результатами ручної перевірки невеликої підвибірки;

– повторний запуск скриптів очищення даних із початкового стану (із видаленням проміжних результатів попередніх запусків і повним їх відтворенням). Це допомагає уникнути випадків, коли в репозиторії залишаються файли, створені вручну, які неможливо відтворити автоматично.

Додатковим інструментом є використання систем контролю версій (Git): за допомогою порівняння змін (англ. *diff*) можна відстежити, чи не відбулися несподівані модифікації даних після їх очищення.

7. Статистичний аналіз і моделювання (включно з методами машинного навчання та ШІ).

На цьому етапі безпосередньо здійснюється аналітична робота відповідно до сформульованих дослідницьких завдань: перевіряються статистичні гіпотези, будуються статистичні моделі, навчаються алгоритми машинного навчання, а також здійснюється оцінювання їх результативності. Вибір програмного забезпечення значною мірою залежить від специфіки аналізу, проте можна виокремити кілька типових сценаріїв:

– Традиційний статистичний аналіз (регресійні моделі, дисперсійний аналіз та аналіз часових рядів) зазвичай реалізується із використанням таких програмних середовищ, як R, бібліотек statsmodels і SciPy у Python, а також спеціалізованих систем SAS, SPSS або Stata. Результати аналізу (коефіцієнти моделей, статистична значущість параметрів, діагностичні графіки тощо) доцільно зберігати у стандартизованих форматах, типу CSV як таблиці чи Excel із параметрами регресії або як графічні файли у високій роздільній здатності для подальшого використання у наукових публікаціях.

– Машинне навчання та побудова прогнозних моделей потребують коректного поділу вибірки на незалежні підмножини (тренувальну, тестову

та, за потреби, валідаційну). Для цього застосовуються бібліотеки scikit-learn (яка містить інструменти для розподілу даних, крос-валідації та налаштування гіперпараметрів) або сучасні фреймворки глибокого навчання, такі як TensorFlow/Keras чи PyTorch. Обов'язковим елементом робочого процесу є фіксація початкових умов випадкових процедур (англ. *random seed*), що забезпечує відтворюваність результатів. Хоча остаточна мета навчання моделі полягає у демонстрації стабільності результатів за різних початкових умов, принаймні одна фіксована ілюстрація відтворюваного сценарію має бути включена для підвищення прозорості дослідження.

– Методологічні стандарти та прозорість дослідження. У випадку подання нової моделі доцільно підготувати всі елементи, що відповідають сучасним рекомендаціям (зокрема, TRIPOD+AI): криві валідації, ключові показники ефективності (AUC, F1, RMSE тощо), оцінку невизначеності (наприклад, через довірчі інтервали, обчислені методом бутстрепа), а також аналіз інтерпретованості моделі (SHAP, LIME) із візуалізацією важливості ознак. Опціонально можна подати прототип веб-додатка або інтерактивний notebook, що демонструє застосування моделі на нових даних. Для перевірки на наявність потенційних упереджень (англ. *bias*) можуть бути використані спеціалізовані інструменти, наприклад, Fairlearn або AI Fairness 360.

З метою підвищення надійності та відтворюваності результати підбору гіперпараметрів варто отримувати автоматизовано (наприклад, за допомогою GridSearchCV із пакета scikit-learn). Оптимальні параметри та значення метрик на тестових даних доцільно зберігати у стандартизованому вигляді (наприклад, metrics.json).

Контроль якості результатів передбачає незалежну перевірку результатів ключових аналізів іншим членом дослідницької команди шляхом повторного запуску скриптів на іншому комп'ютері, що дозволяє виявити приховані залежності. Також усі твердження, що ґрунтуються на попередніх дослідженнях, мають бути перевірені за допомогою сервісів типу scite, який дозволяє оцінити, чи підтримують або спростовують певну публікацію інші джерела. Це допомагає уникнути помилок у трактуванні результатів огляду літературних джерел та забезпечує відповідність академічним стандартам наукової доброчесності.

8. Інтерпретація результатів та аналіз чутливості.

На цьому етапі дослідник переходить від суто кількісних характеристик (числових показників, графічних візуалізацій) до їх наукового осмислення. Основними питаннями є: яке значення мають отримані результати? Чи відповідають вони загальним дослідницьким завданням? Чи узгоджуються вони із попередніми відомими результатами наукових досліджень? Для цього знову залучається аналіз наукових літературних джерел. Інструменти типу Connected Papers або ResearchRabbit можуть застосовуватися на повторному етапі – вже з метою побудови карти суміжних досліджень, що дозволяє визначити, хто отримував подібні чи, навпаки, протилежні

результати. Це дає можливість виявити прогалини або суперечності: якщо новий висновок не узгоджується із кількома авторитетними роботами, необхідно провести детальний порівняльний аналіз (з урахуванням відмінностей в експериментальному дослідженні, методах обробки даних чи статистичних підходах).

Аналіз чутливості є критичним інструментом оцінення надійності висновків. Під ним розуміють перевірку стійкості результатів за варіації вихідних умов або ключових припущень. Методологічно це реалізується у формі альтернативних сценаріїв: наприклад, якщо аналіз охоплює дані за останні десять років, можна повторити обчислення для інших часових інтервалів (5 або 15 років) та оцінити динаміку трендів. Для моделей машинного навчання подібна перевірка може містити використання різних алгоритмів чи варіантів налаштувань гіперпараметрів, що дозволяє перевірити стійкість висновку (наприклад, щодо важливості змінної X як ключового предиктора).

Результати аналізу чутливості зазвичай подаються у вигляді додаткових таблиць або візуалізацій, зокрема: таблиця залежності якості моделі від виключення кожної змінної; графік залежності оцінки ефекту від вибраного закону розподілу чи припущення. Такі матеріали традиційно виносяться у додатки до статті, забезпечуючи прозорість і повноту дослідження.

Контроль якості на цьому етапі передбачає відображення у підсумкових висновках усіх виявлених обмежень. Якщо певний результат виявляється стабільним лише для одного набору параметрів і змінюється за незначної модифікації умов, необхідно зазначити це у відповідному тексті.

Програмні інструменти для аналізу чутливості, як правило, збігаються з тими, що використовувалися на попередніх етапах, проте застосовуються для варіативних конфігурацій вхідних даних чи моделей. Важливим організаційним принципом є структурованість експериментів. Це може бути реалізовано, наприклад, через створення конфігураційного файлу (config.yaml), де фіксуються всі константи (фільтри, порогові значення, базові припущення). Для аналізу чутливості формуються його альтернативні версії з варіаційними параметрами. Таким чином, системи керування робочими процесами (Snakemake, Nextflow) можуть автоматично запускати обчислювальні процедури для різних конфігурацій (зокрема у паралельному режимі за наявності ресурсів), зберігаючи результати у структурованому вигляді. Узагальнювальні скрипти дозволяють інтегрувати отримані дані у зведені таблиці чи графіки, що забезпечує системність подання результатів.

9. Комунікація, візуалізація та відкриті матеріали.

Цей етап дослідницького процесу пов’язаний із підготовкою кінцевого наукового продукту, який може набувати різних форм: рукопису статті, наукової презентації, аналітичного звіту для замовника або інтерактивного інтернет-ресурсу. Програмне забезпечення, що використовується на цій стадії, охоплює інструменти для верстки, візуалізації та публікації результатів.

Стандартом для верстки наукових документів є програмна система LaTeX, у якій багато дослідників створюють безпосередньо самі статті. Інші дослідники надають перевагу системі Markdown із подальшою конвертацією тексту, зокрема для розміщення матеріалів на preprint-серверах. Внесення результатів у текст може здійснюватися шляхом ручного копіювання (менш бажаний варіант через ризик помилок) або ж автоматизованим способом. Наприклад, у LaTeX існують пакети типу «pythontex» чи «minted» (разом із pygments), які дають змогу запускати програмний код під час компіляції документа та автоматично інтегрувати результати. Спрощеною альтернативою є попереднє формування таблиць і графіків із дотриманням узгоджених схем найменування файлів для їх подальшого підключення.

Не менш важливою складовою є візуалізація результатів. Якщо на етапах аналізу графіки використовуються переважно для внутрішніх потреб (наприклад, для діагностики даних чи виявлення аномалій), то на стадії комунікації вони мають відповідати презентаційним вимогам (високоякісне оформлення з належними підписами, відповідність корпоративному стилю або вимогам видання, оптимальна структурованість інформації). Для доведення ілюстрацій до публікаційного рівня часто застосовують спеціалізовані програми, такі як Adobe Illustrator чи Inkscape, що є особливо актуальним для складних схем та діаграм. Водночас підготовку цієї стадії можна значно спростити, якщо ще на етапі аналізу програмно задати параметри оформлення графіків (наприклад, у Matplotlib – шрифти та розміри, узгоджені з вимогами журналу). Крім того, візуалізації можуть існувати у вигляді інтерактивних версій, створених за допомогою Dash, Plotly чи Bokeh. Такі рішення застосовують для внутрішнього дослідження даних, а за наявності часу – для публічного поширення через GitHub Pages чи Streamlit Share.

Важливим елементом є відкриті матеріали (англ. *open materials*). Під цим розуміють публічне надання всіх напрацювань, отриманих у ході дослідження: наборів даних (у разі потреби – у деперсоналізованому або синтетичному вигляді, якщо реальні дані є конфіденційними), вихідного коду, детальних інструкцій до відтворення експериментів, а також створеного програмного забезпечення чи бібліотек. Оптимальною формою подання є реплікаційний пакет, що структурує репозиторій або архів у спосіб, який дозволяє незалежному дослідникові відтворити результати, наведені у статті. Рекомендовано надати такому пакету цифровий ідентифікатор у вигляді коду DOI за допомогою сервісу Zenodo. Додатково можна створити Docker-образ із усім необхідним програмним середовищем та опублікувати його на Docker Hub або в Zenodo. Залежно від характеру дослідження зміст відкритих матеріалів може різнитися: у випадку систематичних оглядів – це бібліографічні бази, списки відібраних статей, таблиці доказів, PRISMA-діаграми; у випадку експериментальних досліджень – набори даних, лабораторні протоколи, калібрувальні криві тощо.

Завершальним елементом є контроль якості. На цьому кроці важливо перевірити, щоб жоден компонент не був пропущений. Під час перевірки рекомендується переконатися, що для кожної таблиці та рисунка з рукопису наявні вихідні дані та скрипти для їхньої побудови, а також що всі ці матеріали входять до складу реплікаційного пакета. Також необхідно впевнитися, що кожне твердження в тексті має відповідне посилання на джерело або підтверджене додатковим аналізом. Оптимальною вважається ситуація, коли зовнішній рецензент може завантажити реплікаційний пакет і самостійно відтворити ключові результати без допомоги авторів і з мінімальними зусиллями. Подібна практика підтримується низкою журналів із відкритої науки, а також спеціалізованими платформами для перевірки реплікаційності.

10. Публікація, архівація та ідентифікація результатів.

Після прийняття статті до публікації необхідно забезпечити довготривалу доступність усіх пов'язаних між собою матеріалів дослідження. На платформі видавця зазвичай генерується остаточний ідентифікатор DOI для статті, який надалі використовується у цитуваннях. Якщо дані чи програмний код ще не були розміщені у відкритому доступі, їх потрібно завантажити до авторитетних репозиторіїв. Для загальних дослідницьких даних широко застосовуються сервіси Zenodo, Figshare, Dryad, які надають ідентифікатор DOI та можливість зазначення умов ліцензування. Наприклад, інтеграція Zenodo із GitHub дозволяє автоматично архівувати релізи репозиторію та присвоювати їм ідентифікатор DOI, пов'язаний з ORCID-ідентифікатором автора та відповідним проєктом. Організація DataCite, що надає ідентифікатор DOI для датасетів, підтримує практику контролю версій: у разі оновлення даних може (але не обов'язково) створюватися новий ідентифікатор DOI, пов'язаний із попереднім. Для збереження програмного коду зручно використовувати ресурс Software Heritage. Він фіксує всю історію змін у репозиторії та надає унікальний ідентифікатор SWHID для кожної версії. Окремі наукові журнали чи інституції можуть висувати специфічні вимоги: наприклад, розміщення біологічних даних у NCBI GEO чи ENA, соціологічних – у ICPSR, моделей нейронних мереж – у Hugging Face Model Hub тощо. У випадку досліджень, орієнтованих на програмні комплекси, зазвичай достатньо використання загальних репозиторіїв із підтримкою ідентифікатора DOI.

Архівація передбачає не лише завантаження файлів, а й ретельне заповнення метаданих: назви, авторів (з ORCID-ідентифікаторами), анотації, ключових слів, дати, відомостей про грантову підтримку (за наявності), пов'язаних публікацій та версії. Це суттєво полегшує пошук і забезпечує коректність подальших цитувань.

Контроль якості містить перевірку доступності архівованих матеріалів: спробу завантаження файлів стороннім користувачем без реєстрації та їх відкриття; перевірку коректності роботи ідентифікатора DOI через сервіс doi.org; узгодженість умов ліцензування (наприклад, дані під CC BY (Creative Commons Attribution), а програмний код під MIT (Massachusetts

Institute of Technology License) – що бажано вказати окремо). Доцільно також визначити у межах дослідницької групи особу, відповідальну за обробку можливих запитів після публікації (часто цю функцію виконує контактний автор).

11. Постпублікаційний супровід та оновлення знань.

Наукові публікації не є завершальним етапом життєвого циклу знання, оскільки наука постійно розвивається. Після виходу статті доцільно відстежувати появу нових даних чи досліджень, які можуть уточнити, розширити або змінити отримані висновки дослідження. Для цього можна використовувати спеціалізовані інструменти: системи сповіщень у Google Scholar чи Semantic Scholar за ключовими словами або тематикою, а також сервіс Elicit, що повідомляє про появу нових препринтів у відповідній галузі. Якщо дослідження має форму «живого огляду» (англ. *living review*) чи довготривалої експериментальної системи, доцільно здійснювати періодичні оновлення аналізу. Наприклад, у випадку регулярної появи значної кількості нових публікацій (приблизно п’ятдесят статей на рік), огляд можна оновлювати щорічно, інтегруючи нові результати до вже існуючої бази. Технічно це реалізується за допомогою скриптів оновлення, які виконують пошук додаткових публікацій, інтегрують нові записи, повторно проводять обчислення (зокрема мета-аналіз) та формують список змін. Використання системи контролю версій забезпечує прозорість: можна створити новий реліз (наприклад, версія 2.0 даних чи коду), присвоїти йому ідентифікатор DOI, зберігаючи водночас зв’язок із попередніми версіями. Якщо модель була натренована на даних лише до 2025 року, а у 2026 році з’явилися нові, потрібно створити оновлену версію моделі, опублікувати (розгорнути) її та чітко пояснити, чим вона відрізняється від попередньої.

Контроль якості передбачає насамперед перевірку сумісності із попередніми версіями. Якщо оновлені дані вказують на некоректність попередньої моделі, про це необхідно прямо повідомити. У випадках, коли оновлений код не відтворює результати, отримані раніше (що може бути пов’язано з удосконаленням методів), доцільно зберегти у репозиторії окрему гілку чи тег із попередньою версією. Важливою процедурою є тестування на наявність регресій: виконання попередніх тестів на нових даних для перевірки стабільності системи та виявлення можливих відхилень, за винятком тих, що зумовлені очікуваними змінами.

12. Дотримання політик щодо використання ШІ та принципів наукової етики.

Цей аспект тісно корелює із попередніми пунктами, проте виділяється окремо у зв’язку з його актуальністю. Якщо у процесі дослідження застосовувалися інструменти ШІ (наприклад, для аналізу літератури чи формулювання окремих фрагментів тексту), відповідні факти необхідно чітко задокументувати у фінальній версії роботи. Багато наукових журналів наразі передбачають спеціальний розділ «Use of Artificial Intelligence» або висувають вимогу у розділі «Acknowledgements» зазначати, які саме сервіси чи

моделі були використані під час підготовки матеріалу. Такі дії не лише відповідають вимогам етичності, але й забезпечують дотримання принципу наукової чесності: читач має право знати, якщо частина тексту чи аналітичних висновків створена за участю ШІ, а не виключно людиною.

У практичному вимірі це означає: у разі використання інструментів типу Elicit або ChatGPT для генерації ідей чи редагування тексту, доцільно навести прозоре формулювання, наприклад: «LLM-асистент ChatGPT застосовувався для покращення зрозумілості окремих речень; фінальний текст перевірений та відредагований авторами» (відповідно до рекомендацій ICMJE/COPE). В такому випадку всі джерела, запропоновані ШІ, підлягають ручній верифікації, оскільки існує ризик неточностей або вигаданих посилань.

Наступний важливий фактор стосується загальних принципів академічної доброчесності: уникнення плагіату, коректного цитування використаних матеріалів (зокрема програмного коду та бібліотек). Сучасні журнали часто «вимагають» посилань не лише на публікації, а й на пакети та бібліотеки, які застосовувалися у дослідженні (наприклад, NumPy [Harris et al., 2020], scikit-learn [Pedregosa et al., 2011]). Хоча програмні засоби (зокрема системи перевірки на плагіат) можуть слугувати допоміжними інструментами, основна відповідальність за дотримання цих принципів покладається на авторів.

Контроль якості на завершальному етапі передбачає ретельну перевірку: чи кожна таблиця, рисунок, уривок коду та будь-яка запозичена ідея мають належне посилання на першоджерело; чи всі співавтори погоджуються з тим, як саме застосовувалися інструменти ШІ, і чи не зазначено їх у списку авторів (деякі платформи, наприклад arXiv, можуть автоматично додавати їх у метадані – цього необхідно уникати). Необхідно переконатися, що у відкритих матеріалах не залишено конфіденційної інформації: інформації доступу, персональних даних учасників експериментів чи інших відомостей. Це особливо важливо у випадку використання зовнішніх сервісів. Для запобігання таким ризикам можуть бути корисними інструменти безпеки, зокрема GitHub Secret Scanning.

Після проходження всіх вказаних етапів можна вважати, що дослідження виконане відповідно до сучасних стандартів наукової практики, результати є надійними, відтворюваними та інтегрованими у контекст актуальних знань.

6.4 Методика використання текстового інтелектуального агента GPT

6.4.1 Практичні рекомендації

1. Формулювання завдання у вигляді інструкції.

– Потрібно чітко визначати роль інтелектуального агента, мету завдання, критерії якості результату, обмеження та формат відповіді (наприклад, «відповідь у форматі JSON відповідно до заданої схеми»).

– Доцільно подавати приклади лише тоді, коли вони суттєво зменшують неоднозначність; у протилежному випадку підказку варто залишати лаконічною.

– Якщо потрібен строго структурований результат, варто використовувати режим JSON або Structured Outputs. Він забезпечує валідний JSON без зайвого тексту, спрощує подальшу обробку та знижує ризик помилок під час парсингу. Такий підхід ефективно працює у середовищах Responses, Assistants або через API.

2. Інструменти та інтеграції.

– Для виконання дій і підключення додаткових ресурсів використовуйте інструменти Responses API (веб-перегляд, робота з кодом, файлами тощо) та підключайте зовнішні джерела через MCP (Model Context Protocol) – відкритий стандарт, підтриманий OpenAI та Google. Це дозволяє легко інтегрувати дані й сервіси незалежно від постачальника.

3. Пошук інформації та генерація тексту.

– Необхідно чітко розмежовувати інструкції для текстового інтелектуального агента та основний контент.

– Рекомендується здійснювати індексацію джерел, зберігати відповідні посилання й дати, а також повертати цитати або URI разом із відповідями.

– Потрібно оптимізувати розбиття документів на фрагменти (чанкування) відповідно до структури матеріалів, наприклад, за заголовками, розділами або таблицями.

4. Якість та перевірка.

– Запровадження оцінювання моделі текстового інтелектуального агента (англ. *evaluations*): необхідно створювати тестові набори даних та визначати відповідні метрики (точність, відповідність схемі, повнота та коректність цитування). Доцільно проводити A/B порівняння між різними моделями або варіантами підказок. Для автоматизації цього процесу можна використовувати як графічний інтерфейс UI, так і програмний інтерфейс API.

5. Безпека даних.

– Не рекомендується передавати конфіденційні дані у відкритому доступі; необхідно використовувати ключі доступу лише через серверну частину (backend). Дотримуйтесь встановлених політик та рекомендацій щодо інформаційної безпеки.

6. Забезпечення відтворюваності та стабільності результатів.

– Рекомендується вести журнал фіксації таких параметрів: ідентифікатор та версія текстового інтелектуального агента; параметри випадковості моделі, такі як температура та початкове значення генератора випадкових чисел; підказка завдання у вигляді інструкції; схема вихідних даних, а також версії використаних інструментів.

– Для завдань, що виконуються повторно, необхідно фіксувати параметри випадковості моделі та використовувати шаблони, що дають однаковий результат за кожного запуску, щоб забезпечити відтворюваність результатів.

7. Умови та доцільність застосування процесу «генерації роздумів».

– У разі складних завдань доцільно надавати текстовому інтелектуальному агенту можливість поглибленого опрацювання інформації (використання режимів з розширеним міркуванням) або задавати модельні ресурси для обробки завдання, обмежуючи кількість кроків або часу на роздуми. Водночас потрібно уникати вимоги надання детальних покрокових ланцюжків думок у відповідях для кінцевого користувача; рекомендується просити надати короткий висновок або основну ідею своїх роздумів або обґрунтування результату.

6.4.2 Порівняльна характеристика актуальних версій інтелектуальних моделей GPT

- GPT-4o (Omni). Мультимодальна модель текстового інтелектуального агента, що забезпечує одночасну обробку текстових, візуальних та аудіоджерел у реальному часі; характеризується підвищеною швидкістю обробки та вдосконаленими можливостями комп'ютерного зору й мовної підтримки. Позиціонується як флагманська версія 2024 року.
- GPT-4.1. Модель із підвищеною точністю виконання інструкцій та посиленою продуктивністю в задачах, пов'язаних із веб-розробкою; станом на січень 2025 року доступна в сервісі ChatGPT для користувачів із платною підпискою.
- OpenAI o3. Лінійка, орієнтована на задачі складного міркування (англ. *reasoning*), що демонструє високу ефективність у програмуванні, математичному аналізі, наукових розрахунках та обробці зображень;
- OpenAI o4-mini. Економічно оптимізована «робоча» модель текстового інтелектуального агента, що пропонує вигідне співвідношення «ціна/якість» для виконання повсякденних операційних завдань.
- Agentic-стек OpenAI. Інфраструктура, що містить Responses API, набір інструментів, підтримку віддалених MCP-серверів та Agent/Operator для автоматизації браузерних дій, призначена для побудови інтелектуальних агентів і автоматизованих робочих процесів.

Рекомендації щодо вибору компонентів екосистеми OpenAI.

– Для складних завдань, що потребують глибокого міркування та наукового аналізу – лінійка «o3».

– Для масових інтеграцій і сценаріїв автоматизації – поєднання Responses API із MCP-інфраструктурою.

– Для мультимодальної взаємодії в реальному часі – GPT-4o (Omni).

– Для виконання повсякденних адміністративних і підтримувальних завдань за умов обмежених ресурсів – o4-mini.

6.4.3 Порівняльна характеристика провайдерів моделей ШІ

Стрімкий розвиток ринку ШІ та зростання різноманіття пропонованих рішень потребують систематизованого оцінення можливостей провайдерів моделей. Подані у таблиці 6.1 результати порівняльного аналізу провайдерів моделей ШІ дозволяють обґрунтовано вибирати оптимальні інструменти для вирішення наукових, промислових та освітніх завдань. Потрібно зауважити, що від початку доцільно проєктувати інструменти у форматі MCP-серверів, що спрощує їхню адаптацію та перехід між різними моделями. Відповідно, інтероперабельність у цьому випадку забезпечується за рахунок протоколу MCP, який дедалі активніше підтримується провідними вендорами (OpenAI, Google та ін.).

Таблиця 6.1 – Порівняльний аналіз провайдерів моделей ШІ

Провайдер	Актуальні моделі/можливості	Ключові переваги	Типові приклади застосування
1	2	3	4
OpenAI	o3 (reasoning), o4-mini, GPT-4o; Responses API, MCP, Agent/Operator	Екосистема інструментів із структурованим поданням відповідей (JSON/схеми) та розширеною обробкою зорової інформації	Інфраструктура агентних систем, промислові застосування та мультимодальні інтерфейси в екосистемі OpenAI
Anthropic	Claude 3.7/4 Sonnet: реалізація концепції розширеного міркування з динамічним контролем обчислювального бюджету	Регульований розширений режим міркування з підвищеною ефективністю в програмуванні та плануванні, із пріоритетом безпечності	Складні задачі, що потребують прозорого міркування, та генерація високоякісного контенту в екосистемі Anthropic
Google	Gemini 1.5/2.0 – мультимодальна модель із підтримкою контексту обсягом до 2 млн токенів	Модель із подовженим контекстом та можливістю інтеграції в екосистему Google Cloud/Workspace	Аналітика великих масивів даних, обробка довгих документів і відеоматеріалів, підтримка корпоративних робочих процесів (Google Developers Blog)

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4
Meta	Llama 3.1 (405B) – модель із відкритими параметрами моделі, контекстом до ~128 тис. токенів	Модель з відкритими параметрами, що дозволяє кастомізацію та локальне використання, із потужною спільнотою	Використання власної інфраструктури, адаптивне до навчання та конфіденційне розгортання моделей (ai.meta.com)
Mistral	Mistral Large 2 (велика модель), Magistral (для міркування), Pixtral (відкриті мультимодальні моделі)	Оптимальне співвідношення ціни та швидкодії, контекст до 128 тис. токенів, адаптивна кастомізація	Розгортання в європейських дата-центрах, швидкі виробничі процеси та підтримка локальних і гібридних конфігурацій (Mistral.ai)

6.5 Стандартизація роботи з інструментами ШІ

Стандартизовані підходи до реалізації поширених завдань:

– Формат звіту. Звіт потрібно формувати у форматі JSON за такою схемою: якщо дані відсутні – відповідні вільні місця замінюються на дані типу «null», жодних зайвих пояснень чи безпосередньо самого тексту додавати не можна. Бажано увімкнути режим Structured Outputs.

– Агентні конфігурації та інструменти. Конфігурація агента має містити чіткі інструкції, список дозволених дій (наприклад, перегляд вебсторінок, запуск коду, робота з файлами, доступ через HTTP/MCP тощо), а також правила ведення журналу дій і правильного цитування джерел.

– Опрацювання великих документів. Для великих документів (близько 1–2 тисяч сторінок) краще використовувати моделі ШІ із дуже довгим контекстом, наприклад Gemini (до 2M токенів), або поєднувати GPT із RAG-індексацією.

– Глибинне міркування. Якщо завдання потребує багатоступеневого логічного аналізу або містить «пастки», необхідно використовувати режим «extended thinking» у Claude (3.7/4) або модель OpenAI o3, оскільки вони краще пристосовані для поглибленого міркування.

Контрольний список впровадження дослідницьких інструментів ШІ:

1. Вибір моделі відповідно до дослідницького завдання (з урахуванням можливостей логічного міркування, мультимодальності та контексту).
2. Розробка інструкцій і структури вихідних даних.

3. Інтеграція інструментів і даних за допомогою протоколу MCP.
4. Проведення оцінювальних експериментів (як на етапі попереднього тестування, так і у форматі безперервного моніторингу).
5. Організація системи фіксування спостережень.
6. Визначення протоколів доступу та захисту персональних даних.
7. Планування оновлень і управління версіями моделей ШІ.

Висновки щодо застосування програмних комплексів у наукових дослідженнях

Сучасне застосування програмних комплексів у наукових дослідженнях трансформує виконання дослідницьких проєктів в інтегрований процес, що поєднує методологічне та технічне підґрунтя. На всіх етапах роботи – від планування (з використанням стандартів прозорості, таких як PRISMA, та проведенням предреєстрації) до збору та підготовки даних (з дотриманням принципів FAIR, застосуванням інфраструктури Jupyter, контейнеризації та HPC-планувальників), а також аналізу та моделювання (завдяки сучасним програмним бібліотекам, інтерактивним робочим середовищам і відтворюваним послідовностям обробки даних) – процес підтримується спеціалізованими інструментами. Інтелектуальні системи пошуку (Scholar, Semantic Scholar, AI-асистенти) значно розширюють можливості дослідника під час огляду наукових літературних джерел, а платформи відкритого поширення результатів досліджень (Jupyter Book, Binder, Zenodo) забезпечують доступність та перевірюваність наукових даних для спільноти. Взаємозв'язок та стандартизація цих компонентів дозволяє формалізувати аналітичний конвеєр (наприклад, у Snakemake або Nextflow) та виконувати його як локально, так і на кластері; упакування середовища у Docker-образ гарантує однакове виконання коду в будь-якому середовищі; а документування походження даних та кроків обробки підвищує довіру до отриманих результатів. Дотримання міжнародних принципів і рекомендацій (FAIR, відтворюваність, етичні стандарти ШІ) є невід'ємною складовою цього процесу. Таким чином, сучасна наука поєднує глибоке предметне розуміння з ефективним використанням комп'ютерних інструментів, що сприяє прискоренню наукових відкриттів, підвищенню їхньої надійності та полегшенню кумулятивного розвитку знань.

Контрольні запитання та завдання

1. У чому полягають принципи FAIR і яким чином їх застосування впливає на керування науковими даними?
2. Що таке відтворюване обчислювальне дослідження і які основні правила забезпечують його реалізацію? Наведіть приклади таких правил.
3. Поясніть роль Jupyter-ноутбуків у сучасному науковому аналізі. Чим вони відрізняються від традиційних підходів документування результатів?

4. Які категорії програмних інструментів можна виділити для підтримки наукового дослідження? Опишіть призначення кожної категорії (наприклад, інтерактивні середовища, статистичні пакети, workflow-менеджери тощо).

5. Наведіть приклад використання контейнеризації (Docker) для забезпечення відтворюваності середовища. Які переваги дає контейнер порівняно з простим описом залежностей у README?

6. Як HPC-кластери і планувальники задач (наприклад, Slurm) допомагають виконувати великі обчислювальні завдання? Що має зробити дослідник, щоб запустити авторський код на HPC?

7. Що таке workflow-менеджер (такий як Snakemake або Nextflow)? Як він покращує організацію та відтворюваність аналітичного процесу?

8. Які стандарти або ініціативи існують для підвищення прозорості в оглядових дослідженнях та у звітуванні про застосування ШІ в наукових публікаціях?

9. У чому полягає аналіз чутливості і як його результати впливають на інтерпретацію основних висновків дослідження? Наведіть можливий сценарій аналізу чутливості для моделі машинного навчання.

10. Опишіть, які кроки необхідно здійснити, щоб підготувати реплікаційний пакет дослідження для публікації. Що має входити до складу такого пакета, аби зовнішній дослідник міг відтворити результати?

11. Чому інструменти на основі великих мовних моделей (LLM) не можуть вважатися авторами наукових статей? Яким чином потрібно відображати використання таких інструментів у дослідженні відповідно до сучасних етичних вимог?

12. На прикладі простого аналізу (наприклад, побудови регресійної моделі для набору даних) складіть короткий Snakefile або псевдокод pipeline, що містить етап завантаження даних, їх очищення, аналізу і побудови звіту. Яким чином можна перевірити відтворюваність цього аналізу?

13. Складіть промпт і JSON-схему для автоматичного «розбору» внутрішніх звітів? Поясніть, яким чином можна перевірити якість методом evals?

14. Визначте набір технологій для обробки: а) тривалого відеодокумента; б) великого архіву PDF-файлів; в) дій у веб-браузері (наприклад, оформлення замовлення). Обґрунтуйте вибір моделей та інструментів для кожного випадку.

15. Запропонуйте архітектуру інтеграції ваших корпоративних даних через MCP, щоб мати можливість перемикатися між OpenAI/ Anthropic/Google без переписування логіки.

РОЗДІЛ 7 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБРОБКА ДАНИХ

7.1 Математичне моделювання та обчислювальні методи

Моделювання – це загальнонауковий метод пізнання навколишнього світу, який застосовується як на емпіричному, так і на теоретичному рівні пізнання. Наукове пізнання зосереджено на вивченні предметів, явищ і процесів, які існують поза нашою свідомістю і називаються об'єктами дослідження. Тому під моделлю розуміють такий матеріальний або подумки уявлений об'єкт, який в процесі пізнання (вивчення) заміщає об'єкт-оригінал, зберігаючи деякі важливі для цього дослідження типові його риси. Процес побудови і використання моделі називається моделюванням.

Метою моделювання є:

1) зрозуміти, як влаштований конкретний об'єкт: яка його структура і внутрішні зв'язки, основні властивості, закони розвитку, саморозвитку і взаємодії із навколишнім середовищем;
2) навчитися керувати об'єктом або процесом, визначати найкращі способи керування за заданих цілей і критеріїв;
3) прогнозувати прямі й опосередковані наслідки реалізації заданих способів і форм впливу на об'єкт.

Існуючі види моделювання можна подати за допомогою такої класифікації (рис. 7.1). Ідеальну модель реальної дійсності можна розділити на два основних типи: інтуїтивне і наукове. Інтуїтивне моделювання – це моделювання, яке базується на інтуїтивному (не обґрунтоване з позицій формальної логіки) уявлення про об'єкт дослідження, що не піддається формалізації або не потребує її.

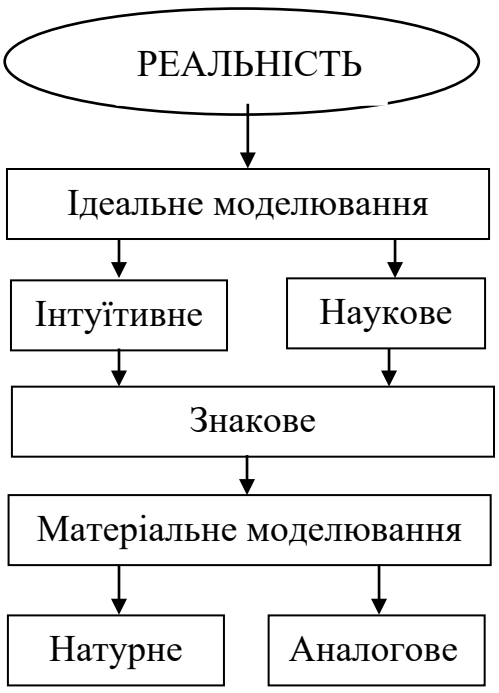


Рисунок 7.1 – Види моделювання

Наукове моделювання – це завжди логічно обґрунтоване моделювання, що використовує мінімальне число припущень, прийнятих як гіпотези на основі спостережень. Головна відміна наукового моделювання від інтуїтивного полягає не тільки в умінні виконувати необхідні операції і дії з власне моделювання, але й в знанні «внутрішніх» механізмів, які використовуються.

Знакове моделювання використовує як моделі знакові (математичні) зображення будь-якого виду: схеми, графіки, креслення, набори символів, що містять також сукупність законів і правил, за якими можна оперувати із вибраними утвореннями і елементами.

Основними різновидами матеріального моделювання є натурне і аналогове. Водночас обидва види моделювання ґрунтуються на властивостях геометричної або фізичної подібності.

Натурне (фізичне) моделювання – це моделювання, за якого реальному об’єкту ставиться у відповідність його збільшений або зменшений матеріальний аналог, що допускає дослідження (як правило в лабораторних умовах) за допомогою наступного перенесення властивостей дослідних процесів і явищ з моделі на об’єкт на основі теорії подібності.

Аналогове моделювання – це моделювання, яке ґрунтується на аналогії теорії процесів і явищ, які мають різну фізичну природу, але однаково описуються формально (одними й тими самими математичними співвідношеннями, логічними і структурними схемами). В основу аналогового моделювання покладено збіг математичних описів різних об’єктів. Моделі натурного (фізичного) й аналогового типів є матеріальним відображенням реального об’єкта і тісно пов’язані з ним своїми геометричними, фізичними та іншими характеристиками.

Під час спостереження за об’єктом-оригіналом у свідомості дослідника формується деякий уявний образ об’єкта, його ідеальна модель (рис. 7.2), яку прийнято називати когнітивною (уявною, яка сприяє пізнанню).



Рисунок 7.2 – Схема взаємозв’язку моделей

Формуючи таку модель, дослідник, як правило, прагне дати відповідь на конкретні питання, тому від безкінечно складного устрою об'єкта відсікається усе непотрібне з метою його більш компактного і лаконічного опису.

Когнітивні моделі суб'єктивні, оскільки формуються апріорно на основі усіх його попередніх знань і досвіду. Отримати уявлення про когнітивну модель можна тільки описавши її в знаковій формі.

За функціональною ознакою та цілями змістовні моделі підрозділяються на описові, пояснювальні і прогнозовані. Описовою моделлю можна назвати будь-який опис об'єкта. Пояснювальна модель дозволяє відповісти на питання, чому що-небудь відбувається. Нарешті, прогнозована модель має описувати майбутню поведінку об'єкта. Потрібно відзначити, що прогнозована модель не може містити в собі пояснювальну.

Концептуальною прийнято називати змістовну модель, під час формулювання якої використовуються поняття і подання предметних областей знань, які займаються вивченням об'єкта моделювання. Виділяють три види концептуальних моделей: логіко-семантичні, структурно-функціональні і причинно-наслідкові (див. рис. 7.2).

Логіко-семантична модель є описом об'єкта в термінах і означеннях, які відповідають предметним областям знань, включно з усіма відомими логічно несуперечливими твердженнями і фактами. Аналіз таких моделей здійснюється засобами логіки із залученням знань, накопичених у відповідних предметних областях.

Під час побудови структурно-функціональної моделі об'єкт зазвичай розглядається як цілісна система, яку розчленовують на окремі елементи і підсистеми. Частини системи пов'язують структурними відношеннями, які описують підпорядкованість, логічну і часову послідовність розв'язання окремих задач. Для подання подібних моделей зручні різного роду схеми, карти і діаграми.

Причинно-наслідкова модель часто використовується для пояснення і прогнозування поведінки об'єкта. Такі моделі орієнтовані переважно на: 1) виявлення головних взаємозв'язків між складовими елементами об'єкта, що вивчається; 2) визначення того, як зміна одних факторів впливає на стан компонентів моделі; 3) розуміння того, як загалом буде функціонувати модель і чи буде вона адекватно описувати динаміку параметрів, які цікавлять дослідника.

Формальна модель є поданням концептуальної моделі за допомогою однієї або декількох формальних мов (наприклад, математичних теорій, універсальної мови моделювання UML (Unified Modeling Language) або алгоритмічних мов). Зі свого боку, формальна модель може бути пояснювальною або передбачуваною.

7.1.1 Математична модель

Як було зазначено вище, одним із видів знакового моделювання є математичне моделювання. Математичне моделювання – це ідеальне наукове знакове формальне моделювання, за якого опис об'єкта здійснюється мовою математики, а дослідження моделі проводиться із використанням тих чи інших математичних методів.

Під математичною моделлю (ММ) можна розуміти будь-який оператор A, який дозволяє за відповідними даними вхідних параметрів X встановити вихідні значення параметрів Y об'єкта моделювання:

$$A: X \rightarrow Y;\ X \in \Omega_X;\ Y \in \Omega_Y, \quad (7.1)$$

де Ω_X, Ω_Y – множини допустимих значень вхідних і вихідних параметрів для моделюючого об'єкта. Залежно від природи моделювального об'єкта елементами множин Ω_X і Ω_Y можуть бути будь-які математичні об'єкти (числа, вектори, тензори, функції тощо).

Поняття оператора у наведеному вище понятті може бути як деяка функція, що пов'язує вхідні і вихідні значення, так і відображення, що являє собою символічний запис системи алгебраїчних, диференціальних, інтегродиференціальних або інтегральних рівнянь. Також це може бути деякий алгоритм, сукупність правил або таблиць, які забезпечують знаходження (або встановлення) вихідних параметрів за заданими вихідними значеннями.

Класифікацію ММ залежно від складності об'єкта подано на рис. 7.3. Усі об'єкти моделювання можна розділити на дві групи: прості і об'єкти-системи. У першому випадку не аналізуються: внутрішня будова об'єкта, його складові елементи та підпроцеси. Для системи є сукупність взаємопов'язаних елементів, у певному сенсі відокремлена від навколишнього середовища, яка взаємодіє з нею як одне ціле.

Для складних систем характерна наявність великого числа взаємопов'язаних, взаємодіючих між собою елементів. Водночас зв'язок між елементами A і B системи може відрізнятися від зв'язку між елементами B і A. Якщо система має N елементів і кожний елемент пов'язаний з кожним, тоді загальне число зв'язків дорівнює $N(N\text{-}1)$. Якщо усі N елементів мають по M станів, тоді для такої системи загальне число станів S дорівнює M^N.

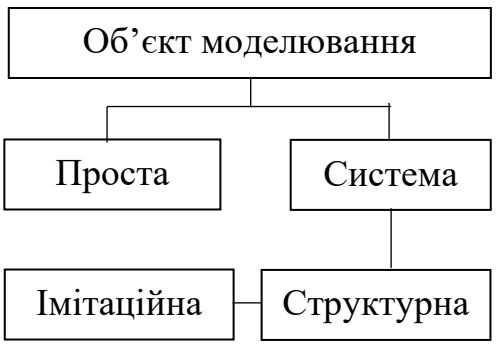


Рисунок 7.3 – Класифікація об'єктів моделювання

Моделі об'єктів-систем, які враховують властивості і поведінку окремих елементів, а також взаємозв'язки між ними, називаються структурними.

Серед структурних динамічних систем виділяють в окремий підклас імітаційні системи, що складаються із скін-

ченного числа елементів, кожен з яких має скінченне число станів. Моделювання взаємозв'язків елементів всередині комп'ютерної системи здійснюється за допомогою певного алгоритму.

Будь-яка ММ може розглядатися як деякий оператор A (див. (7.1)), що є алгоритмом або визначається сукупністю рівнянь – алгебраїчних, звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР), систем ЗДР (СЗДР), диференціальних рівнянь в частинних похідних (ДРЧП), інтегродиференціальних рівнянь (ІДР) тощо (рис. 7.4).

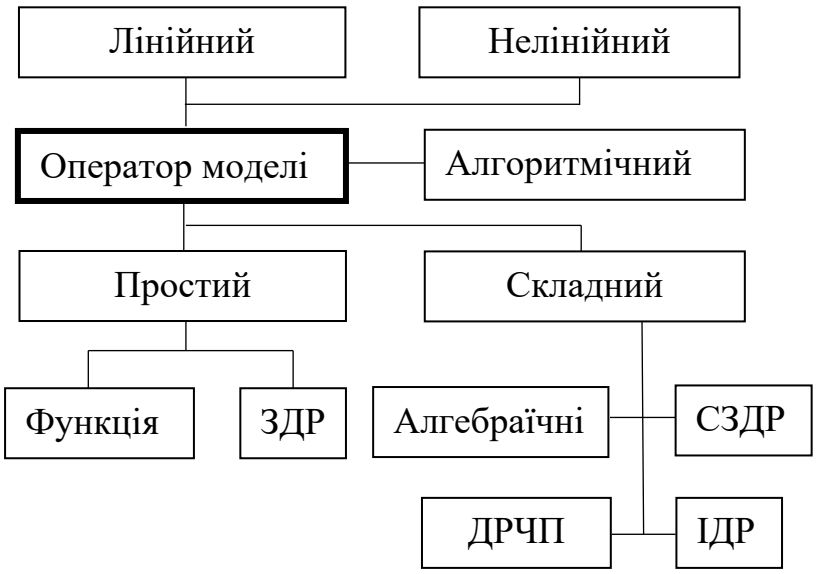


Рисунок 7.4 – Класифікація ММ залежно від оператора моделі

Якщо оператор забезпечує лінійну залежність вихідних параметрів Y від значень вхідних параметрів X, тоді ММ називається лінійною, інакше – нелінійною. Лінійна поведінка властива відносно простим об'єктам. Системам, як правило, властива нелінійна багатоваріантна поведінка.

Залежно від виду оператора ММ можна поділити на прості і складні. У випадку, коли оператор моделі є алгебраїчним виразом, що відображає функціональну залежність вихідних параметрів Y від вхідних X, модель будемо називати простою.

Прості моделі часто є результатом узагальнення й аналізу експериментальних даних. На основі аналізу таких даних висувається гіпотеза про можливий функціональний зв'язок вхідних і вихідних параметрів із подальшим визначенням ступеня адекватності.

Модель, яка містить системи диференціальних та інтегральних співвідношень, належить до складних, оскільки потребує застосування досить складних математичних методів.

У загальному випадку параметри, що описують стан і поведінку об'єкта моделювання, розбиваються на ряд підмножин, які не перетинаються:

– сукупність вхідних параметрів (керованих) впливів на об’єкт (Ω_X);
– сукупність впливів зовнішнього середовища (некерованих, Ω_E);
– сукупність внутрішніх (власних) параметрів об’єкта (Ω_I);
– сукупність вихідних характеристик (Ω_Y).

Вхідні параметри X, що описують вплив зовнішнього середовища E і внутрішні (власні) характеристики I об’єкта, відносять до незалежних (екзогенних) величин. Вихідні параметри Y – залежні (ендогенні) величини.

У загальному випадку оператор моделі A перетворює екзогенні параметри на ендогенні Y: $\{X, E, I\} \rightarrow Y$.

На рисунку 7.5 подано схему класифікації ММ залежно від параметрів самої моделі.



Рисунок 7.5 – Класифікація ММ залежно від параметрів

За своєю природою характеристики об’єкта можуть бути як якісними, так і кількісними. Введення тих чи інших кількісних характеристик об’єкта моделювання можливе за наявності еталона порівняння (наприклад, для характеристики розміру тіла – метр). Крім того, кількісні значення параме-

тра можуть бути виражені дискретними або неперервними величинами. Якісні характеристики визначаються, наприклад, методом експертних оцінок. Залежно від виду множин параметрів, що використовуються, моделі можуть поділятися на якісні і кількісні, дискретні й неперервні, а також змішані.

Під час побудови моделі можливі такі варіанти опису невизначеності параметрів:

1) детерміновані – значення усіх параметрів моделі визначаються детермінованими величинами (тобто кожному параметру відповідає конкретне ціле, дійсне число або відповідна функція). Цей спосіб відповідає повній визначеності параметрів;

2) стохастичне – значення усіх або окремих параметрів моделі визначається випадковими величинами, заданими щільністю ймовірності;

3) випадкове – значення усіх або окремих параметрів моделі встановлюються випадковими величинами, заданими оцінками щільності ймовірності, отриманими внаслідок обробки обмеженої експериментальної вибірки цих параметрів;

4) інтервальне – значення усіх або окремих параметрів моделі описуються інтервальними величинами, заданими інтервалом, утвореним мінімальними і максимально можливими значеннями параметра;

5) нечітке – значення усіх або окремих параметрів моделі описуються функціями належності відповідній нечіткій множині.

Поділ моделей на одновимірні, двовимірні і тривимірні застосовують для таких моделей, до числа параметрів яких входять координати простору.

Якщо швидкості зміни зовнішніх впливів на об’єкт моделювання суттєво менші за швидкості релаксації, тоді явною залежністю від часу в моделі можна знехтувати, і в такому випадку говорять про квазістатичний процес. Якщо швидкості зміни зовнішніх впливів і параметрів стану досліджуваного об’єкта достатньо великі (порівняно зі швидкістю релаксації), тоді врахування часу необхідне. У цьому випадку об’єкт дослідження розглядають в рамках динамічного процесу.

Для фізичних процесів, в яких час може бути виключений із числа незалежних змінних, такий процес називається стаціонарним. Якщо в ролі однієї із суттєвих незалежних змінних необхідно використовувати час (або його аналог), то модель називається нестаціонарною.

Процес побудови будь-якої ММ можна подати послідовністю етапів, зображених на рисунку 7.6. Аналіз об’єкта моделювання і формулювання технічної задачі на розробку моделі (змістовна постановка задачі) базуються на особливостях її функціонального призначення. Розрізняють технічні системи, призначені для реалізації прогресивних технологій, для автоматичного керування об’єктами і для приведення в рух робочих органів технологічних систем.



Рисунок 7.6 – Етапи побудови ММ

Для концептуальної і математичної постановки задачі моделювання технічних систем доцільно використовувати два підходи. Перший підхід оснований на дослідженні функціональної сторони динамічних систем, що розглядаються як деякий «чорний ящик» і має вхідні X і вихідні Y змінні параметри (рис. 7.7). Між цими змінними параметрами «чорний ящик» реалізує зв’язок, який визначається деяким оператором A, що здійснює однозначне перетворення вхідних X і вихідних Y змінних параметрів.

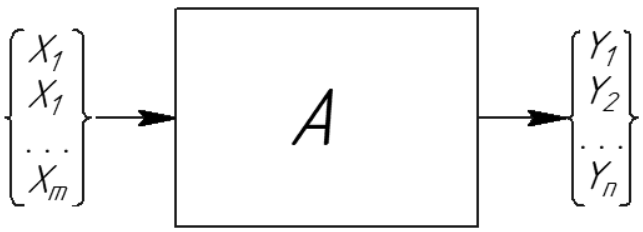


Рисунок 7.7 – Схема ММ «чорний ящик»

Другий підхід передбачає системне розкриття внутрішньої структури технічної системи, яка являє собою сукупність підсистем (елементів), що виконують певну функцію (рис. 7.8), виконується пошук лінійних (k_1, k_2, k_3) і нелінійних (c_1, c_2, c_3) ефектів, вхідних параметрів (F_1, F_2, F_3) і на цій основі формулюється ММ системи (Y_1, Y_2, Y_3).

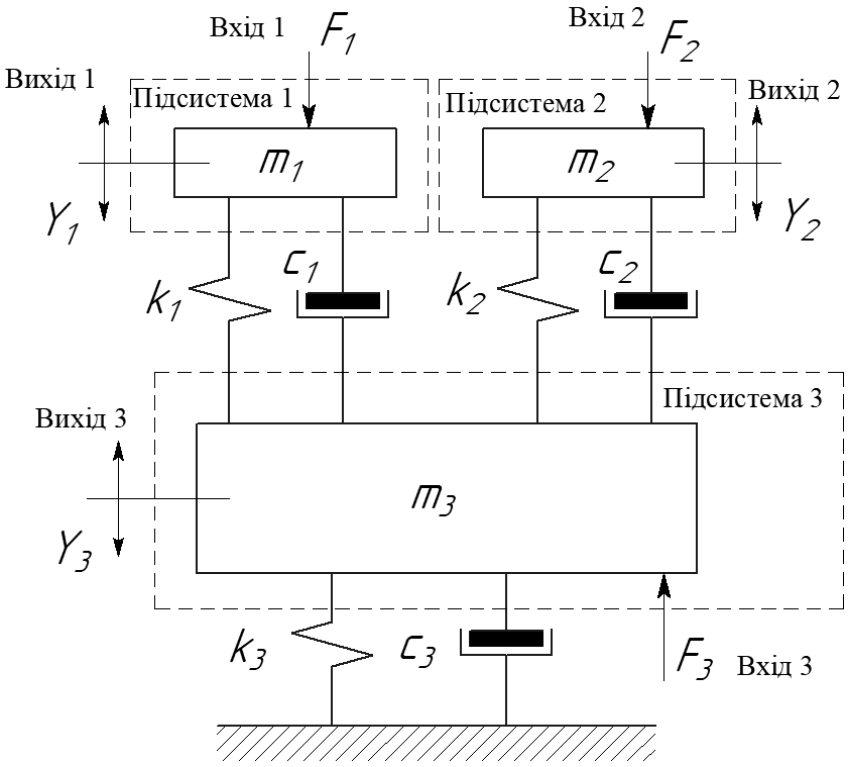


Рисунок 7.8 – Схема системного підходу до математичного моделювання технічних систем

На наступному етапі виконується якісний аналіз і перевірка коректності моделі на основі літературних джерел, досвіду розробки і використання моделей аналогів.

Вибір і обґрунтування вибору методів розв’язання задачі полягають у функціональному відображенні всіх основних параметрів системи, її логіки роботи і функціонального призначення.

За аналітичного або алгоритмічного розв’язання задачі у вигляді програми вибирається стратегія математичного моделювання, яка виконується з метою раціоналізації процесу розробки моделі. Вона полягає у визначенні необхідної послідовності виконання робіт, одержанні та використанні проміжних результатів, зниженні ймовірності появи похибок, використанні готових блоків моделей, методів і методик. Внаслідок проходження вищевказаних етапів математичного моделювання буде отримано закінчену ММ, придатну для розрахунків.

Ефективне використання моделей можливе лише за умови, що їхні характеристики відповідають певним вимогам. Основними характеристика-

ми моделей є точність, вірогідність, адекватність, складність та універсальність.

Точність математичної моделі (англ. *accuracy of mathematical model*) – її властивість, яка відображає ступінь збігу передбачених з її допомогою значень характеристик об'єкта з дійсними значеннями цих характеристик. За дійсне значення характеристики об'єкта зазвичай приймають експериментально отримані величини або достовірно відомі факти.

Точність характеризується похибкою і є величиною, оберненою до неї. Похибка – це відхилення модельного значення від дійсного. Точністю або похибкою можна характеризувати не всі моделі, а лише ті, для яких визначено чисельну характеристику відхилення моделі від оригіналу, тобто метрику у просторі моделей. Зокрема, досить просто і природно знаходиться відхилення лише для функціональних моделей, які описують залежність одного параметра стану системи від вектора впливів.

Похибки моделювання також класифікують за джерелами походження: методичні, обчислювальні, похибки від невизначеності початкових даних тощо.

Методичні похибки можуть бути викликані нехтуванням певними впливовими факторами, помилками у виборі виду функціональної залежності, невідповідністю способу отримання результату моделювання особливостям моделі, неправильним вибором типу моделі тощо.

Обчислювальні похибки викликані особливостями алгоритму отримання результату. За великої кількості послідовних обчислень похибка накопичується і може досягати значної величини. Такі ситуації виникають під час розв'язування диференціальних рівнянь, особливо у частинних похідних та інших задачах.

Похибки від невизначеності початкових даних відіграють значну роль у разі використання алгоритмів з низькою стійкістю. Так, наприклад, за обчислення похідної різницевим методом похибка результату може значно перевищувати похибки початкових даних.

У випадку застосування моделювання в діючих системах реального часу з'являється додаткова складова похибки – динамічна. Вона зумовлена тим, що протягом часу моделювання початкові дані можуть змінитися, і отримані результати вже не будуть їм відповідати. Очевидно, динамічна похибка залежить від співвідношення швидкості зміни початкових даних й швидкості моделювання.

Залежно від призначення моделі розглядають похибки абсолютні, відносні і зведені; максимальні, середні та середні квадратичні:

– абсолютна похибка

$$\Delta_y = y - y^*,$$

де y – модельне значення,

y^* – дійсне значення;

– відносна похибка

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta_y}{y^*},$$

– максимальна похибка

$$\Delta_{y\max} = \max_{x_i \in X}\left(y_i - y_i^*\right),$$

де $\overline{x}_i = \left(x_{1i}, \ldots, x_{ni}\right)$ – вектор вхідних величин об'єкта/моделі;

X – множина можливих значень вектора вхідних величин.

– середня похибка

$$\overline{\Delta}_y = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[y(x_i) - y^*(x_i)\right],$$

де $N = \prod_{k=1}^{n_k} m_k$; m_k – кількість значень k-ї вхідної величини;

– середня квадратична похибка

$$\sigma_y = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(\Delta_y)^2} & \text{якщо } N > 30, \\ \sqrt{\dfrac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(\Delta_y)^2} & \text{якщо } N < 30; \end{cases}$$

– зведена похибка

$$\delta_y = \frac{\sigma_y}{y_{\max} - y_{\min}},$$

де y_{max}–y_{min} – діапазон значень параметра стану об'єкта моделювання.

Якщо визначено окремі похибки, то за умови їх незалежності загальна середня квадратична похибка визначається за формулою:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_i \left(\sigma_y^2\right)_i}\,.$$

Вірогідністю характеризуються моделі, для яких не визначено метрику. Вірогідність (англ. *reliability of mathematical model*) – це ймовірність відсутності помилки під час побудови моделі:

$$P_0 = 1 - P_{пом},$$

де $P_{пом}$ – ймовірність виникнення помилки.

Під час розробки моделі звичайно допускаються помилки – як грубі, так і несуттєві. Тому одержана ММ підлягає аналізу з метою підтвердження її достовірності. Проводиться комплекс пробних розрахунків («перший

розрахунок»). В цьому випадку отримуємо початковий масив інформації $[Y]$ за результатами математичного моделювання. Отриманий масив піддається аналізу з метою перевірки адекватності (достовірності) ММ для підтвердження правильності результатів моделювання.

Перевірка адекватності виконується шляхом порівняння результатів моделювання з еталоном (експериментом, модельним (достовірним) розрахунком, явищем тощо).

За наявності еталона умовою адекватності є відповідність вихідних даних моделі та еталона у разі тотожних вхідних даних $[X] \equiv [X_e]$. Відповідність встановлюється досягненням необхідної точності розрахунків $[Y] - [Y_e] \le [\Delta]$ (рис. 7.9).

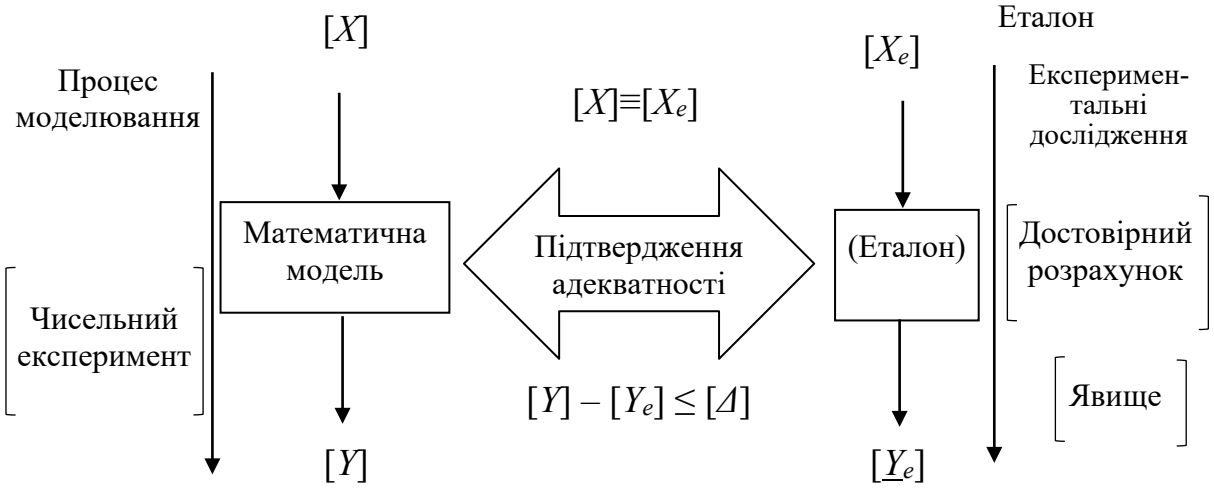


Рисунок 7.9 – Схема перевірки адекватності моделі

Якщо точні експериментальні дані відсутні, то перевірка адекватності проводиться шляхом статистичного аналізу наближених експериментальних даних або за допомогою інших методів. Якщо адекватність моделі не підтверджується, здійснюється уточнення напрямку і стратегії моделювання та проводиться доопрацювання моделі відповідно до вищевказаних етапів. У випадку, коли модель задовольняє умови адекватності, процес розробки моделі вважається завершеним, і тоді переходять безпосередньо до практичного використання ММ.

Складність моделі є комплексною характеристикою, яка переважно сприймається інтуїтивно. Залежно від виду моделі розрізняють декілька видів складності. Структурна складність визначається кількістю елементів, зв’язків між ними та показником нерегулярності цих зв’язків. Функціональна складність визначається кількістю вхідних і вихідних даних, обчислювальною складністю моделі.

Сучасний етап розвитку ІТ характеризується широкою взаємодією з іншими галузями науки і техніки. Однією із характерних рис сучасних досліджень є математизація фізичного пізнання та інтенсивне застосування

методів математичного моделювання в різних галузях науки і техніки. Поява сучасних потужних комп'ютерних систем значно підвищила інтерес до різних чисельних методів й алгоритмів, реалізація яких межує із проведенням чисельного експерименту, що відображає процес отримання результатів під час чисельного моделювання. Потреба у такому підході до розв'язання задач математичного моделювання диктується запитами практики, що стають все складнішими, і спробою створення більш раціональних загальних обчислювальних методів для вивчення складних фізичних явищ.

Відповідно до вимог системного підходу розробка моделі має відповідати таким принципам: а) системної єдності (комплексності, системності); б) адекватності (бажаний компроміс між цілями і засобами); в) розвитку; г) інваріантності; д) єдності інформаційної бази; е) сумісності; ж) включення.

Реалізація першого принципу системного підходу до проєктування призводить до поділу задач за ступенем їхньої енергоємності (чи рутинності) згідно зі шкалою інтелектуальності (графом цілей і задач).

1. Процес розробки подається певною ієрархічною структурою, нижній рівень якої – практична відсутність автоматизації у разі епізодичного, разового «підходу до програмного комплексу» з окремими програмами фізичних розрахунків (пакетний спосіб обробки завдань – розв'язання завдань внутрішнього проєктування).

2. Наступний рівень автоматизації – виконання робіт внутрішнього проєктування засобами системного забезпечення. Наприклад, засобами виклику відповідного програмного модуля, завантаження його вихідними даними і отримання результату в зручному для людини вигляді.

3. Якщо ж говорити про подальші перспективи автоматизації, то мова може йти про інтеграцію завдань і засобів їх розв'язання. Це є ефективним інструментом розв'язання широкого кола завдань з високим рівнем автоматизації.

Узагальнюючи отримані результати в сфері методології систем автоматизованого проєктування технологічних процесів та систем, можна умовно розділити принципи підходу моделювання на сукупність основних правил побудови моделей систем і способів їх машинної реалізації. Причому правила визначають загальні властивості, якими має володіти побудована модель, а способи реалізації дають конкретні прийоми отримання потрібних властивостей моделі системи.

Ієрархічна структура взаємозв'язку правил побудови і практичних способів реалізації моделей може бути умовно подана у вигляді схеми (рис. 7.10), яка задає ланцюг неформальних дій, що виконуються під час моделювання технологічних процесів та систем. На схемі прийнято такі позначення: *правила*: 1 – зіставлення точності і складності моделі; 2 – співмірність похибок моделювання і опису; 3 – реалізація блочного подання моделі; 4 – спеціалізація моделей для конкретних умов; 5 – достатність набору елементів моделі; 6 – наочність моделі для дослідника і користувача;

способи: 7 – мінімальний обмін інформацією між блоками; 8 – спрощення моделі за критерієм інтерпретації; 9 – видалення блоків з модифікацією критерію; 10 – заміна залежних впливів незалежними; 11 – перевірка точності на умовних моделях; 12 – перевірка точності за збіжністю результатів; 13 – вибір еквівалента вхідних блоків; 14 – порівняння моделей різної складності; 15 – паралельне моделювання варіантів системи.

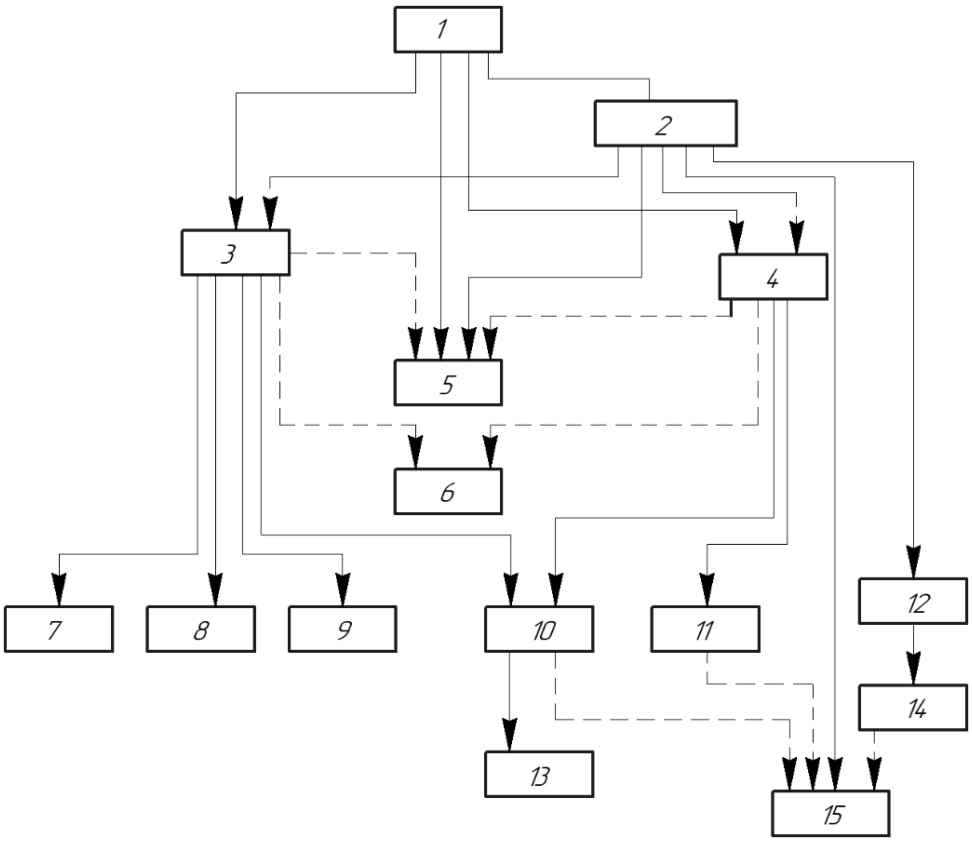


Рисунок 7.10 – Схема взаємозв’язку правил побудови і способів реалізації моделей технічних систем

На схемі (рис. 7.10) суцільними лініями показано зв’язки загальних правил і способів, пунктирними – можливість використання відповідного правила або способу.

7.1.2 Обчислювальні методи

Сучасний етап розвитку науки та техніки характеризується зростанням складності об’єктів і процесів, що підлягають дослідженню. У зв’язку з цим математичне моделювання стає основним інструментом аналізу, прогнозування та оптимізації складних систем різної природи. Проте значна частина математичних моделей не має аналітичного розв’язку через нелінійність, високий ступінь розмірності або складну форму області визначення. За таких умов ефективне застосування обчислювальних методів є необхідною передумовою отримання якісних практичних результатів.

Одним із фундаментальних напрямів використання обчислювальних методів є розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), які часто виникають у прикладних задачах – від моделювання електричних систем до розрахунків в інженерній механіці. Зокрема, у методі скінченних елементів задачі напружено-деформованого стану елементів конструкцій зводяться до великих СЛАР, які можуть містити сотні тисяч невідомих складових рівнянь. У таких випадках застосування ітераційних чисельних методів (Гаусса-Зейделя, Якобі) є єдиним практичним способом одержання розв'язку з необхідною точністю.

Не менш важливе місце посідають обчислювальні методи диференціального числення, що забезпечують можливість аналізу динаміки зміни параметрів системи. Зокрема, чисельне диференціювання використовується для визначення градієнтів функцій у задачах оптимізації, що є основою методів навчання глибинних нейронних мереж або побудови моделей керування технічними системами.

Рівняння математичної фізики, які описують процеси теплопередачі, дифузії, коливань чи руху рідини, у більшості випадків не мають точного аналітичного розв'язку. Тому їх розв'язування здійснюється переважно за допомогою чисельних методів – скінченних різниць, скінченних елементів або скінченних об'ємів. Такі підходи дозволяють здійснювати комп'ютерне моделювання реальних процесів, наприклад, турбулентного потоку повітря навколо аеродинамічних тіл, розподілу температур у реакторах або процесів дифузії домішок у напівпровідникових структурах.

Важливе значення також мають обчислювальні методи інтегрування та диференціювання, які застосовуються під час аналізування експериментальних даних або складних функціональних залежностей. Зокрема, чисельне інтегрування дає змогу визначати енергетичні характеристики механічних систем, обчислювати площі, об'єми та середні значення величин, тоді як чисельне диференціювання використовується для відновлення швидкісних та прискорених характеристик сигналів у задачах оброблення даних.

Обчислювальні методи є невід'ємною складовою сучасного математичного моделювання, оскільки забезпечують практичну реалізацію аналітичних моделей, дають можливість отримати наближені, але достатньо точні результати, а також створюють основу для прогнозування, оптимізації та управління складними технологічними системами. Їх застосування є ключовим у розвитку систем ШІ, обчислювальної техніки, кліматичного моделювання та інших напрямів сучасних інтелектуальних технологій.

7.1.2.1 Чисельний метод розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь

Дослідження багатьох фізичних систем призводить до побудови математичних моделей у формі СЛАР, які можуть з'являтися у процесі математичного моделювання як проміжний етап під час вирішення складнішого завдання. Існує значна кількість науково-технічних завдань, у яких мате-

матичні моделі складних нелінійних систем, у формі дискретизації чи лінеаризації, зводяться до розв'язання СЛАР.

Постановкою задачі розв'язання СЛАР є визначення невідомих значень $x_1, x_2, ..., x_n$, що задовольняють систему з m лінійних алгебраїчних рівнянь (англ. *system of linear algebraic equations*):

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + ... + a_{1n}x_n = b_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + ... + a_{2n}x_n = b_2; \\ .....; \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... + a_{mn}x_n = b_m, \end{cases} \qquad (7.2)$$

де a_{11}, a_{12}, …, a_{mn} – коефіцієнти при невідомих значеннях x_{ij};

b_1, b_2, …, b_m – вільні члени.

Система (7.2) називається однорідною, якщо усі її вільні члени дорівнюють нулю ($b_1 = b_2 = \ldots = b_m = 0$), інакше – неоднорідною. Квадратною СЛАР є система, у якої кількість рівнянь збігається із числом невідомих ($m = n$). Система рівнянь є недовизначеною, якщо $n > m$ і такі СЛАР називаються прямокутними. Якщо $n < m$, тоді система є перевизначеною. Також розв'язком СЛАР є сукупність n чисел c_1, c_2, …, c_n, таких, що їх відповідна підстановка замість $x_1, x_2, ..., x_n$ у системі (7.2) обертає усі її рівняння на тотожності. Система (7.2) називається сумісною, якщо вона має хоча б один розв'язок, і несумісною, якщо розв'язки відсутні. Розв'язки вважаються різними, якщо хоча б одне із значень змінних не збігається. Сумісна система з єдиним розв'язком називається визначеною, а в разі наявності багатьох розв'язків – недовизначеною.

Для визначення коренів системи ефективно використовувати ітераційні чисельні методи. Найбільш поширеним ітераційним методом є обчислювальний метод Гаусса-Зейделя, в основі якого лежить систематичне уточнення значень змінних, заданих на початку розрахунку. У разі використання методу Гаусса-Зейделя під час обчислення (k+1)-го наближення невідомого значення x_i ($i > 1$) використовується обчислене раніше (k+1)-е наближення невідомих x_1, x_2, …, x_{i-1}. Тоді, відповідно до методу Гаусса-Зейделя, k-те наближення розв'язку може бути записано у вигляді:

$$x_i^{(k)} = \frac{1}{a_{ii}}(b_i - a_{i1}x_1^{(k)} - ... - a_{i,i-1}x_{i-1}^{(k)} - a_{i,i+1}x_{i+1}^{(k-1)} - ... - a_{in}x_n^{(k-1)}). \qquad (7.3)$$

Ітераційний процес триватиме доти, доки усі значення $x_i^{(k)}$ не стануть близькими до $x_i^{(k-1)}$. Близькість цих значень характеризується максимальною абсолютною величиною їх різниці δ. Тоді за заданої допустимої похибки $\Delta > 0$ умова закінчення ітераційного процесу може бути записана у вигляді:

$$\delta = \max_{1 \le i \le n} \left| x_i^{(k)} - x_i^{(k-1)} \right| < \Delta.$$

Ця умова є критерієм на основі абсолютного відхилення, який може бути замінений критерієм на основі відносних різниць. Тобто умова закінчення ітераційного процесу може бути записана у вигляді (для $|x_i| >> 1$):

$$\max_{1\le i\le n}\left|\frac{x_i^{(k)}-x_i^{(k-1)}}{x_i^k}\right|<\varepsilon\,.$$

У разі виконання однієї з цих умов ітераційний процес розв'язання методом Гаусса-Зейделя називається збіжним. У цьому випадку максимальні різниці δ між значеннями змінних у двох наступних ітераціях спадають, а самі ці значення наближатимуться до розв'язку системи рівнянь.

7.1.2.2 Чисельні методи розв'язання задач нелінійної математики

На сучасному етапі розвиток багатьох фундаментальних і прикладних наук тісно пов'язаний із застосуванням методів і засобів математичного й комп'ютерного моделювання. Ідеологія математичного моделювання передбачає формалізацію вихідного об'єкта-оригіналу за допомогою математичного і/або алгоритмічного опису (моделі), й дослідження поведінки об'єкта на основі програмно реалізованих обчислювальних експериментів. Це дозволило перейти від найпростіших розрахунків та оцінок різних конструкцій або процесів до нової стадії роботи – детального математичного моделювання (обчислювального експерименту), яке суттєво скорочує потребу в натурному експерименті, а в ряді випадків може взагалі їх замінити. В основі обчислювального експерименту покладено розв'язання ММ чисельними методами. Часто ММ зводиться до нелінійних рівнянь, алгебраїчних чи трансцендентних, причому наявність будь-якої нелінійної функції, відмінної від ступеневого поліному, перетворює рівняння у трансцендентні. На практиці задача зводиться до знаходження одного кореня на заданому інтервалі або всіх існуючих коренів. Така проблема виникає, наприклад, під час оцінювання стійкості систем автоматичного керування. Прикладів виникнення таких задач в процесі проєктування та дослідження об'єктів різної природи багато.

Дослідження математичних моделей у вигляді нелінійних, алгебраїчних чи трансцендентних рівнянь є задачею обчислення дійсних коренів рівнянь типу $f(x) = 0$ на заданому відрізку $[a; b]$, де f: $R_1 \mapsto R_2$ – алгебраїчна або трансцендентна функція. Вважається, що функція $f(x)$ є будь-якою кусково-неперервною функцією дійсного аргументу, яка на відрізку $[a; b]$ неперервна і має кусково-неперервну похідну.

Число $x = \xi$ називається коренем функції $f(x)$, якщо $f(\xi) \equiv 0$.

Число ξ називається коренем k-ої кратності, якщо за $x = \xi$ разом із функцією дорівнюють нулю усі її похідні до порядку k-1 включно:

$$f(\xi)=f'(\xi)=\cdots=f^{k-1}(\xi)=0\,,\ \text{але}\ \ f^{(k)}(\xi)\neq 0\,. \qquad (7.4)$$

Під час визначення наближених значень коренів рівняння $f(x) = 0$ необхідно розв'язати дві задачі:

1) відокремлення коренів, тобто визначення достатньо малих проміжків, в кожному із яких знаходиться один і тільки один корінь рівняння (простий або кратний);

2) уточнення коренів із наперед заданим числом правильних знаків.

Після того, як дослідження рівняння $f(x) = 0$ закінчено і для кожного дійсного кореня ξ встановлено інтервал, в якому цей корінь знаходиться, переходять до розв'язання другої задачі – уточнення знайдених коренів.

Відокремлення кореня ξ, тобто встановлення подвійної нерівності $a < \xi < b$, само собою, дає можливість отримати його грубе наближене значення, як таке можна узяти, наприклад, центр інтервалу $[a; b]$. У такому разі абсолютна похибка буде меншою за число $\varepsilon < \dfrac{|a-b|}{2}$.

Підставивши знайдене ξ_1 в рівняння $f(x) = 0$ і переконавшись, що воно не забезпечує необхідну точність, вибирається $f(\xi_1) = a_1$ або $f(\xi_1) = b_1$, і як результат виконуватиметься точніша нерівність: $a_1 < \xi < b$ або $a < \xi < b_1$.

Алгебраїчне або трансцендентне рівняння $f(x) = 0$ може бути зведене до такого вигляду:

$$x = \varphi(x),$$

що можна виконати різними шляхами і отримати різні вирази для функції $\varphi(x)$.

Для наближеного значення кореня x_0 визначається точніший результат за допомогою формули $x_1 = \varphi(x_0)$ або в загальнішому вигляді:

$$x_{n+1} = \varphi(x_n) \ (n = 0, 1, 2, \ldots). \tag{7.5}$$

Повторюючи цей процес, тобто інтегруючи декілька разів, можна отримати значення кореня із будь-яким ступенем точності, якщо виконується достатня умова:

$$|\varphi'(x)| < 1 \text{ на сегменті } [\xi; x_0], \tag{7.6}$$

де $x = \xi$ – точне значення кореня.

Якщо умова (7.6) не виконується, тоді рівняння $f(x) = 0$ завжди можна подати у вигляді $x = x - c \cdot f(x)$, і константу c підібрати таким чином, щоб для функції $\varphi(x) = x - c \cdot f(x)$ умова (7.6) мала місце. Тоді згідно з формулою (7.4) отримаємо:

$$x_{n+1} = x_n - cf(x). \tag{7.7}$$

Метод ітерацій дає можливість «вгадувати» нові значення x_n під час здійснення будь-якого кроку n, що еквівалентно початку ітерацій з нового, більш успішного значення x_0. Відповідно, у тих випадках, коли процес збігається повільно, можна вносити відповідні корективи, враховуючи результати попередніх кроків.

Для визначення втрати точності в методі ітерації необхідно проаналізувати вплив помилок округлення проміжних результатів на кінцеві результати. Зокрема, під час розв'язування рівняння за методом ітерацій для двох послідовних наближень можна встановити такий зв'язок:

$$x_{n+1} - \xi \approx \varphi'(\xi)(x_n - \xi), \tag{7.8}$$

де ξ – точне значення шуканого кореня.

Таким чином, точність результату в процесі визначення кореня за методом ітерацій зростає приблизно як геометрична прогресія зі знаменником $\varphi'(\xi)$.

7.1.2.3 Чисельні методи розв'язання задач диференціального числення

Нині навряд чи можна знайти яку-небудь галузь науки і техніки, де б не використовувались високопродуктивні обчислювальні комп'ютерні системи, а саме: розрахунок траєкторій супутників Землі, моделювання потоку повітря навколо літака з метою проєктування його ефективної конструкції, дослідження міцнісних характеристик будівельних конструкцій, прогнозування кліматичних умов тощо. Математичні моделі всіх згаданих вище проблем, а також більшості інших наукових та інженерних задач являють собою системи диференціальних рівнянь. Звичайними диференціальними рівняннями можна описати задачі руху системи взаємодіючих матеріальних точок, кінетики, електричних кіл, опору матеріалів тощо. Ряд важливих задач для рівнянь в частинних похідних також зводиться до задач для ЗДР. Таким чином, розв'язання ЗДР займає важливе місце серед прикладних задач фізики, хімії і техніки.

Звичайним диференціальним рівнянням називається рівняння, що містить невідомі функції, незалежну змінну і похідні невідомих функцій (або їх диференціали).

Загальний вигляд ЗДР:

$$F\left(x, y, y', y'', \ldots, y^{(n)}\right) = 0 \text{ або } F\left(x, y, \frac{dy}{dx}, \frac{d^2y}{dx^2}, \ldots, \frac{d^ny}{dx^n}\right) = 0, \tag{7.9}$$

де $y = y(x)$ – функція, яка визначається;

$y^{(n)} = \dfrac{d^ny}{dx^n}$ – похідна (диференціал) n-го порядку функції $y(x)$ від аргументу x;

F – дійсна функція від власних аргументів, які також вважаються дійсними.

Диференціальні рівняння бувають лінійними та нелінійними. Лінійним рівнянням називається рівняння, в якому невідома функція та її похідні знаходяться у першому ступені. Порядком диференціального рівняння називається порядок найвищої із похідних (або диференціалів), що входять у

рівняння (7.9). У загальному випадку розв'язок (7.9) визначається внаслідок n послідовних інтегрувань, так що загальний розв'язок n-го порядку містить n довільних постійних:

$$y = y\left(x, C_1, C_2, \ldots, C_n\right). \tag{7.10}$$

Якщо загальний розв'язок рівняння (7.9) отримано в неявному вигляді:

$$\Phi\left(x, y, C_1, C_2, \ldots, C_n\right) = 0, \tag{7.11}$$

тоді він називається загальним інтегралом цього рівняння. Іншими словами, в тих випадках, коли рівність (7.11) можна розв'язати відносно шуканої функції y, її називають загальним розв'язком диференціального рівняння (7.9), а якщо вона залишається нерозв'язаною відносно y – загальним інтегралом. Надавши довільним сталим C_1, C_2, …, C_n конкретні числові значення, буде отримано із (7.11) частинний інтеграл.

Для того, щоб із загального розв'язку виділити одне частинне, необхідно до диференціального рівняння додати деякі додаткові умови. Зазвичай використовуються початкові умови, які під час дослідження процесу, що розвивається в часі, є математичним записом початкового стану процесу.

Для системи n звичайних диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\frac{dU(x)}{dx} = F(x, U), \tag{7.12}$$

де $U = (y_1, y_2, \ldots, y_n)^T$, $F(x, U) = \left(f_1(x, U), f_2(x, U), \ldots, f_n(x, U)\right)^T$ – вектори, загальний розв'язок містить n похідних сталих $U = \Phi\left(x, C_1, \ldots, C_n\right)$, і для виділення його частинних розв'язків необхідно також задати n додаткових умов, а саме стільки, скільки рівнянь містить система.

Розрізняють три основні типи задач для ЗДР: задачі Коші, крайові задачі і задачі на власні значення. Постановка задачі Коші для системи n ЗДР першого порядку в загальному випадку сформулюється таким чином. Знайти розв'язок диференціального рівняння:

$$\frac{dU(x)}{dx} = F(x, U) \text{ за } x > x_0,\ U(x_0) = U^0, \tag{7.13}$$

де x_0 – початкове значення x;

U^0 – початкове значення вектора U ($U = (y_1, y_2, \ldots, y_n)^T$);

$F(x, U) = \left(f_1(x, U), f_2(x, U), \ldots, f_n(x, U)\right)^T$, або в розгорнутому вигляді:

$$\frac{dy_i(x)}{dx} = f_i\left(x, y_1, y_2, \ldots, y_n\right);\ x > x_0;\ y_i(x_0) = y_i^{(0)}\ (i = 1, 2, \ldots, n).$$

Для рівнянь першого–n-го порядків задача Коші формулюється, як визначення розв'язку диференціальних рівнянь:

$$\frac{d^n y}{dx^n} = f(x, y, y', \ldots, y^{(n)}) \text{ для } x > x_0$$

$$\text{за } y(x_0) = C_0,\ y'(x_0) = C_1,\ \ldots, y^{(n-1)}(x_0) = C_{n-1},$$

де C_1, C_2, …, C_n – деякі константи; y', y'', …, $y^{(n)}$ – похідні функції y.

Типи диференціальних рівнянь, для яких розроблено методи отримання точних розв'язків, порівняно малі і охоплюють лише невелику частину задач, що виникають на практиці. Наближеними називаються методи, в яких розв'язок буде отримано як межу $y(x)$ деякої послідовності $y_n(x)$, причому $y_n(x)$ виражаються через елементарні функції або за допомогою квадратур. Обмежуючись кінцевим числом n, буде отримано приблизний вираз для $y(x)$.

Чисельні методи – це алгоритми обчислення приблизних (а іноді й точних) значень потрібного розв'язку $y(x)$ на деякій вибраній сітці значень аргументу x_n. Розв'язок буде отримано у вигляді таблиці. Чисельні методи не дозволяють знайти загальний розв'язок системи (7.13); вони можуть дати тільки деякий частинний розв'язок, наприклад, розв'язок задачі Коші (7.13). Проте ці методи можуть бути застосовані до широкого класу рівнянь і усіх типів задач для них.

Найбільше поширення у практичних розрахунках отримав чисельний метод Рунге-Кутта розв'язання ЗДР із похибкою обчислення четвертого порядку $O(h^4)$, який виражається у вигляді ітераційного рівняння:

$$y_{k+1} = y_k + \frac{h}{6}\left(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4\right), \tag{7.14}$$

де h – крок обчислення;

$$K_1(h) = f(x_k, y_k);\quad K_2(h) = f\left(x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{h}{2}K_1\right);$$

$$K_3(h) = f\left(x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{h}{2}K_2\right);\ K_4(h) = f(x_k + h, y_k + hK_3).$$

Для оцінення загальної похибки чисельного розв'язання задачі Коші для ЗДР методом Рунге-Кутта і вибору кроку інтегрування на кожному ітераційному кроці обчислення було запропоновано метод Колатца, а саме: якщо в процесі розрахунків значення $R = \left|\frac{K_2 - K_3}{K_1 - K_2}\right|$ перевищує декілька сотих, тоді крок обчислення h необхідно зменшити.

7.1.2.4 Чисельні методи розв'язання рівнянь математичної фізики

Предметом математичної фізики є побудова і дослідження математичних моделей фізичних явищ. Задачі класичної математичної фізики зводяться до крайових задач для рівнянь у частинних похідних. Основними

засобами дослідження таких задач є теорія диференціальних рівнянь разом із теорією функцій, варіаційним численням, функціональним аналізом, теорією ймовірності та обчислювальною математикою.

Якщо позначити через D область n-вимірного простору R^n точок $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$; $x_1, x_2, \ldots, x_n$; $n \geq 2$ – декартові координати точки x, тоді рівняння виду:

$$F\left(x, u, \frac{\partial u}{\partial x_1}, \frac{\partial u}{\partial x_1}, \ldots, \frac{\partial^k u}{\partial x_1^{i_1} \ldots \partial x_n^{i_n}}, \frac{\partial u}{\partial x_n^m}\right) = 0 \quad (x \in D;\ \sum_{j=1}^{n} i_j = k\ ;\ k=0, 1, \ldots, m) \quad (7.15)$$

називаються диференціальним рівнянням у частинних похідних порядку m відносно невідомої функції $u = u(x)$, де $F = F\left(x, u, \frac{\partial u}{\partial x_1}, \ldots\right)$ – задана дійсна функція точок $x \in D$, невідомої функції u і її частинних похідних. Ліва частина рівняння (7.15) називається диференціальним оператором із частинними похідними порядку m.

Дійсна функція $u = u(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, яка визначена в області D завдання рівняння (7.15), неперервна разом зі своїми частинними похідними, що входять у це рівняння, і є такою, що перетворює його в тотожність, називається класичним (регулярним) розв'язком рівняння (7.15).

Розв'язок рівняння (7.15) в n+1-вимірному просторі змінних $x_1, x_2, \ldots, x_n, u$ задає деяку гладку поверхню розмірності n, яка називається інтегральною поверхнею рівняння (7.15).

Багато задач фізики суцільних середовищ зводяться до розв'язання диференціальних рівнянь із частинними похідними. У такому випадку шуканими функціями зазвичай є густина, температура, напруження та інші, аргументами яких є координати розглянутої точки простору, а також і сам час.

Повна математична постановка задачі нарівні із диференціальними рівняннями містить також деякі додаткові умови. Якщо пошук розв'язку виконується в обмеженій області, то також задаються крайові умови. Тоді задача називається крайовою задачею для рівнянь із частинними похідними. Якщо однією із незалежних змінних є час t, то задаються значення шуканих функцій у початковий момент часу $t = 0$, і вони називаються початковими умовами.

Нехай $u(x, y)$ – невідома функція двох змінних x і y, яку необхідно визначити. Тоді достатньо вузький клас задач для рівнянь першого і другого порядків, лінійних відносно похідних, має таку форму рівняння:

$$\begin{aligned} &A(x,y)\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2B(x,y)\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C(x,y)\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + D(x,y)\frac{\partial u}{\partial x} + \\ &+E(x,y)\frac{\partial u}{\partial y} + F(x,y) = G, \end{aligned} \quad (7.16)$$

де A, B, C, D, E, F – функціональні коефіцієнти, які можуть залежати як від аргументів x, y, так і від функції u.

Залежно від цього, рівняння (7.16) може бути:

а) рівнянням другого порядку в частинних похідних із сталими коефіцієнтами;

б) лінійним, якщо права частина рівняння лінійно залежить від функції u, а коефіцієнти залежать тільки від x, y;

в) квазілінійним, якщо коефіцієнти залежать від u.

Розрізняють різні види рівнянь залежно від співвідношення між коефіцієнтами:

1) за $A = B = C = D = F = 0$, $D \neq 0$, $E \neq 0$ маємо рівняння переносу

$$\frac{\partial u}{\partial x} + P\frac{\partial u}{\partial y} = G, \quad (P = E / D). \tag{7.17}$$

Якщо в рівнянні (7.16) однією із незалежних змінних є час, то це рівняння називається еволюційним;

2) якщо хоча б один із коефіцієнтів $A = B = C \neq 0$, то рівняння (7.16) є рівнянням другого порядку. У такому випадку залежно від дискримінанта $Ds = 4B^2 - 4AC$ рівняння (7.16) може належати до одного із трьох типів: гіперболічного ($Ds > 0$), параболічного ($Ds = 0$), еліптичного ($Ds < 0$). Рівняння можуть переходити з одного типу в інший залежно від значень відповідних коефіцієнтів.

У випадку, коли коефіцієнти A, B, C є сталими, рівняння (7.16) має один і той самий тип у всіх точках площини змінних x і y. У випадку, якщо коефіцієнти A, B, C неперервно залежать від x і y, множина точок, в яких це рівняння відноситься до гіперболічного (еліптичного) типу, утворює на площині відкриту область, яка називається гіперболічною (еліптичною), а множина точок, в яких рівняння відноситься до параболічного типу, замкненою. Рівняння (7.16) називається змішаним (змішаного типу), якщо в деяких точках площини воно є гіперболічним, а в деяких – еліптичним. У цьому випадку параболічні точки, як правило, утворюють лінію, яка називається лінією зміни типу або лінією виродження.

Існують два види методів розв’язання рівнянь цього типу: аналітичний (результат виводиться різними математичними перетвореннями), чисельний, за якого отриманий результат відповідає дійсному із заданою точністю, але необхідно багато алгебраїчних обчислень, що потребує використання обчислювальних потужностей комп’ютерних систем.

Розв’язання еліптичних рівнянь

До еліптичних рівнянь зводиться багато різних фізичних задач: розрахунок напружень, що виникають під час пружного кручення довгого циліндричного стержня; розподіл електричних напружень на провідниковій площині; задача про стаціонарні потоки тепла у плоскому тілі та інші.

Більшість еліптичних рівнянь описується рівнянням Пуассона або його частинним випадком – рівнянням Лапласа.

Однією із відомих задач є класична задача Діріхле для рівняння Лапласа в прямокутній області. Необхідно визначити неперервну функцію $u(x, y)$, яка задовольняє рівняння Лапласа $\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$ усередині прямокутної області $\Omega = \{(x; y) \mid 0 \le x \le a,\ 0 \le y \le b\}$, а також набуває на границі області заданих значень: $x = 0$, $u(0, y) = u_1(y)$; $x = a$, $u(a, y) = u_2(y)$; $y = 0$, $u(x, 0) = u_3(x)$; $x = b$, $u(x, b) = u_4(x)$.

В область розв'язання вводиться двовимірна сітка із кроком h по осі x та l по осі y. Тоді, використовуючи взяті позначення й апроксимуючи рівняння Лапласа різницевим рівнянням, отримаємо систему лінійних рівнянь ($l = h$):

$$\begin{cases} u_{i,j} = \frac{1}{4}\left(u_{i+1,j} + u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i,j-1}\right); \\ u_{i,0} = u_3(x_i),\ u_{i,m} = u_4(x_i),\ u_{0,j} = u_1(y_i),\ u_{n,j} = u_2(y_i); \\ i = 1, 2, \ldots, n-1;\ j = 1, 2, \ldots, m-1. \end{cases} \qquad (7.18)$$

Така система рівнянь має велику кількість нульових елементів і задовольняє умову збіжності у разі використання ітераційних методів. Для розв'язання систем рівнянь типу (7.18) найчастіше використовують метод Гауса-Зейделя (див. підпункт 7.1.2.1), який у разі застосування до еліптичних різницевих рівнянь називається методом Лібмана або методом послідовних зміщень.

Розв'язання гіперболічних рівнянь

Одним із найпоширеніших в інженерній практиці видів гіперболічного рівняння з частинними похідними другого порядку є хвильове рівняння, яке описує різні види коливань:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \cdots + \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2}\right) + f(x, t), \qquad (7.19)$$

де $x = (x_1, \ldots, x_n)$ – декартові координати;

$f(x, t)$ – функція зовнішнього впливу (зовнішня сила);

$t \in R$ – час;

a – фазова швидкість;

$u(x, t)$ – функція положення хвилі в точці з координатами x в момент часу t.

Одновимірне однорідне хвильове рівняння для випадку вільних коливань, на основі рівняння (7.19), записується у такому вигляді:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \tag{7.20}$$

де $u(x, t)$ – функція, яка описує положення струни в момент часу t;

$a^2 = T/\rho$ (T – сила натягу струни, ρ – її лінійна (погонна) густина);

$f(x, t) = 0$ – функція зовнішнього впливу (див. (7.19)).

Коливання припускаються малими, тобто їх амплітуда мала порівняно із довжиною струни. Опір середовища коливальному процесу не враховується. Найпростішою задачею для рівняння (7.20) є задача Коші: в початковий момент часу задаються дві умови (кількість умов дорівнює порядку похідної за часом t):

$$u\big|_{t=0} = u(x, 0) = \varphi(x), \; \frac{\partial u}{\partial t}\bigg|_{t=0} = \psi(x). \tag{7.21}$$

Ці умови описують початкову форму струни $u = \varphi(x)$ і швидкість руху її точок $\psi(x)$. На практиці розв'язується не задача Коші для нескінченної струни, а змішана задача для обмеженої струни певної довжини l. У цьому випадку задаються граничні умови на її кінцях $u(0, t) = \mu_1(t)$ і $u(l, t) = \mu_2(t)$. Наприклад, за закріплених кінців їх зміщення дорівнюють нулю, й граничні умови мають вигляд:

$$u\big|_{t=0} = 0, \; u\big|_{x=l} = 0. \tag{7.22}$$

Для розв'язання задачі (7.20)–(7.22) найчастіше використовують тришарову схему, де сукупність вузлів за t = const називається шаром. Водночас вводиться рівномірна прямокутна сітка: $x_i = i \cdot h$ (i = 0, 1, …, n), $\tau_i = j \cdot \tau$ (j = 0, 1, …, m). На основі базових різницевих схем рівняння (7.20) подається кінцево-різницевими співвідношеннями:

$$\begin{cases} \dfrac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\tau^2} = a^2 \dfrac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h^2}; \\ i = 1,\ 2,\ \ldots, n-1; j = 1,\ 2,\ \ldots, m-1. \end{cases} \tag{7.23}$$

Різницева схема (7.23) має похибку апроксимації другого порядку точності $O(h^2 + \tau^2)$. Різницева схема (7.23) розв'язання задачі (7.20) – (7.22) умовно стійка, тому необхідна і достатня умова стійкості має вигляд:

$$r = a\frac{\tau}{h} < 1. \tag{7.24}$$

Умова (7.24) забезпечує прийнятну точність отримання розв'язку $u(x, t)$, який має неперервні похідні четвертого порядку. Причому за умови $r > 1$ розв'язок нестійкий, а за $r < 1$ розв'язок, хоча й стійкий, але точність його у разі зменшення r знижується; за умови, що $r = 1$, різницевий розв'язок стійкий і збігається з точним.

Розв'язання параболічних рівнянь

Прикладом задачі, яка зводиться до параболічного рівняння в частинних похідних, є задача нестаціонарної теплопровідності. Зокрема в однорідній задачі теплопровідності необхідно визначити функцію $u(x, t)$, яка задовольняє в області $\Omega = \{(x, t), 0 \le x \le l, 0 \le t \le T)\}$ рівняння:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \ (k = \text{const} > 0), \tag{7.25}$$

початкову умову $u(x,0) = u_0(x)$ і крайові умови першого роду $u(0, t) = \mu_1(t)$ і $u(l, t) = \mu_1(t)$.

Можливі два варіанти побудови різницевого рівняння на розрахунковій сітці із кроком h по x і τ по t. Зокрема, за явної двошарової схеми рівняння (7.25) подається кінцево-різницевими співвідношеннями, а саме:

$$u_{i,j+1} = \delta u_{i+1,j} + (1 - 2\delta)u_{ij} + \delta u_{i-1,j}, \tag{7.26}$$

де $\delta = \alpha \frac{\tau}{h^2}$ та $i = 1, 2, \ldots, n - 1;\ j = 0, 1, \ldots, m - 1$.

Явна двошарова різницева схема (7.26) стійка тільки за $\delta \le 0.5$, що призводить до необхідності проводити обчислення із дуже малим кроком по t ($\tau \le 0{,}5h^2$), а це також обмежує швидкодію і потребує великих витрат машиночасу комп'ютерних систем.

Тому для параболічних рівнянь найширшого застосування набула неявна двошарова схема, а саме:

$$-u_{i,j-1} = \delta u_{i+1,j} - (1 + 2\delta)u_{ij} + \delta u_{i-1,j}. \tag{7.27}$$

Неявна двошарова різницева схема (7.27), доповнена рівняннями із крайових умов $u_{0,j} = \mu_1(t_j)$ та $u_{n,j} = \mu_2(t_j)$ призводить до системи рівнянь, яка має стійкий розв'язок за будь-яких значеннях δ.

7.1.2.5 Чисельні методи інтегрування та диференціювання

У багатьох задачах, пов'язаних з розробкою, аналізом, ідентифікацією й оціненням якості різних методів і засобів математичного моделювання, а також інформаційних технологій, виникає необхідність обчислення певних інтегралів.

Функція $F(x)$ на заданому проміжку D називається первісною функцією для функції $f(x)$ або інтегралом від $f(x)$, якщо у всьому цьому проміжку $f(x)$ є похідною для функції $F(x)$, або те саме, що і $f(x)dx$ слугує для $F(x)$ диференціалом:

$$F'(x) = f(x) \ \text{ або } \ dF(x) = f(x)dx.$$

Якщо функція $f(x)$ неперервна на відрізку $[a; b]$ й відома її первісна функція $F(x)$, то визначений інтеграл від a до b може бути обчислений за допомогою формули Ньютона-Лейбніца:

$$I = \int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a). \qquad (7.28)$$

Графічна інтерпретація інтеграла – це площа криволінійної трапеції, обмежена кривою $y = f(x)$, двома ординатами $x_1 = a$ і $x_2 = b$ та відрізком осі x.

Дуже часто обчислення значення інтеграла є не те що складним процесом (велика складність аналітичних перетворень), а й узагалі неможливим (наявність невласних інтегралів), коли підінтегральна функція задана набором числових даних (експериментальні дані).

Тому задача чисельного інтегрування (англ. *numerical integration*) функції полягає в обчисленні значення визначеного інтеграла на основі ряду значень підінтегральної функції (заміна вихідної підінтегральної функції певною апроксимувальною функцією). Формули чисельного інтегрування часто називають квадратурними.

Найвідомішим методом знаходження визначених інтегралів є метод прямокутників.

Нехай потрібно визначити значення інтеграла функції $f(x)$ на відрізку $[a; b]$. Ідея методу прямокутників полягає в розбитті відрізка інтегрування $[a; b]$ на елементарні відрізки $[x_{i-1}; x_i]$ точками $a = x_0 < x_1 < \ldots < x_n = b$, на основі яких будуються прямокутники, що мають висоту $f(\xi_i)$. За рівномірного розбиття відрізка $x_i = a + i \cdot h$ (h – крок), тому $h = \dfrac{(a-b)}{n}$.

Значення інтеграла функції $f(x)$ приблизно виражається сумою площ побудованих прямокутників. Узагальнена квадратурна формула прямокутників має вигляд:

$$I = \int_a^b f(x)dx \approx \sum_{i=1}^{n} f(\xi_i)(x_i - x_{i-1}), \qquad (7.29)$$

де точка $\xi_i \in [x_i; x_{i-1}]$.

Залежно від вибору положення точки ξ_i розрізняють формули лівих, правих і середніх прямокутників.

За $\xi_i = x_{i-1}$ формула лівих прямокутників із першим порядком точності – $O(h)$:

– для нерівновіддалених вузлів

$$I \approx \sum_{i=1}^{n} f(\xi_i)(x_i - x_{i-1}); \qquad (7.30)$$

– для рівновіддалених вузлів

$$I \approx h\sum_{i=1}^{n} f(x_{i-1}). \qquad (7.31)$$

За $\xi_I = x_i$ формула правих прямокутників із першим порядком точності – $O(h)$:

– для нерівновіддалених вузлів

$$I \approx \sum_{i=1}^{n} f(x_i)(x_i - x_{i-1});$$

– для рівновіддалених вузлів

$$I \approx h\sum_{i=1}^{n} f(x_i).$$

У випадку $\xi_i = \frac{x_{i-1} + x_i}{2}$, формула середніх прямокутників із другим порядком точності – $O(h^2)$:

– для нерівновіддалених вузлів

$$I \approx \sum_{i=1}^{n} f(\frac{x_i + x_{i-1}}{2})(x_i - x_{i-1});$$

– для рівновіддалених вузлів

$$I \approx h\sum_{i=1}^{n} f\left(x_{i-1} + \frac{h}{2}\right).$$

Формули лівих та правих прямокутників можуть бути використані як для аналітично заданих функцій, так і для функцій, заданих таблично. Метод середніх прямокутників може використовуватись для пошуку інтегралів тільки від аналітично заданих функцій.

Метод лівих та правих трикутників для заданого рівняння дає суттєву похибку обчислення. Найбільш точний результат дозволяє отримати метод середніх прямокутників. У разі збільшення кількості інтервалів (зменшення значення h) точність обчислення інтеграла буде збільшуватися.

Також похибки обчислення інтегралів чисельними методами можна розрахувати за такими формулами:

– метод прямокутників (ліві, праві)

$$\Delta = \frac{nh^2}{2} M_1,$$

де M_1 – максимальне значення першої похідної $f(x)$ в обчислювальній області $x\in[a; b]$;

– метод прямокутників (середні)

$$\Delta = \frac{nh^3}{24} M_2.$$

Наближене диференціювання аналітично заданих функцій необхідне під час розробки універсальної процедури пошуку похідної для великої

кількості різних функцій або у випадку, коли аналітичний вигляд похідної функції надто громіздкий і призводить до втрати точності.

В основі чисельного диференціювання (англ. *numerical differentiation*) аналітично заданих функцій покладено визначення похідної:

$$f'(x_0) = \lim_{h \to 0} \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h}.$$

Оскільки невідомо, яке значення h взяти, то необхідно побудувати послідовність $\{h_k\}$ такою, щоб $h_k \to 0$ (наприклад, $h_k = 0{,}5^k$) й, відповідно, формується послідовність $\{D_k\}$, де:

$$D_k = \frac{f(x + h_k) - f(x)}{h_k} \ (k = 1, 2, \ldots, n). \tag{7.32}$$

Розрахунок елементів послідовності виконується до тих пір, поки виконується умова:

$$\left|D_{n+1} - D_n\right| < \left|D_n - D_{n-1}\right|.$$

Якщо відома точність ε, з якою необхідно визначити похідну, то умова завершення обчислення похідної цим методом із порядком точності h:

$$\left|D_{n+1} - D_n\right| < \varepsilon .$$

Нехай $f \in C^3[a; b]$, тоді порядок точності попереднього методу можна підвищити, використовуючи замість формули (7.32) інші вирази.

Формула другого порядку точності $O(h^2)$ для обчислення похідної:

$$f'(x) \approx \frac{f(x + h) - f(x - h)}{2h}. \tag{7.33}$$

Аналогічно можна отримати подібні формули для старших похідних порядку точності $O(h^2)$:

$$f''(x) \approx \frac{f(x + h) - 2f(x) + f(x - h)}{h^2}; \tag{7.34}$$

$$f'''(x) \approx \frac{f(x + 2h) - 2f(x + h) + 2f(x - h) - f(x - 2h)}{2h^3}; \tag{7.35}$$

$$f^{(4)}(x) \approx \frac{f(x + 2h) - 4f(x + h) + 6f(x) - 4f(x - h) + f(x - 2h)}{h^4}. \tag{7.36}$$

Сам алгоритм обчислення похідної залишається незмінним, а саме: формується послідовність $\{h_k\}$ так, щоб значення $h_k \to 0$ й відповідно обчислюються елементи послідовності $\{D_k\}$, для розрахунку яких замість виразу (7.32) використовується одна з отриманих формул (7.33)–(7.36).

Також існують формули більш високих порядків точності, які можна знайти в спеціальній літературі.

7.2 Експериментальна ідентифікація об’єктів моделювання

Різноманітність моделей висуває проблему вибору виду та побудови такої моделі, яка є адекватною конкретному об’єкту та системі і зручною з огляду на задачу, для розв’язання якої вона створюється. Процес вибору та побудови моделі об’єкта називають його ідентифікацією, тобто встановленням взаємно однозначної відповідності між об’єктом і його моделлю.

Задача ідентифікації формулюється так: за результатами спостережень за вхідними впливами і вихідними величинами об’єкта побудувати оптимальну, в деякому сенсі, її модель.

Іншими словами, якщо об’єкт описується деяким оператором F_t, апріорі невідомим, тоді, маючи виміряні значення характеристик входу і виходу θ_Y, θ_X, необхідно побудувати оцінку оператора F_t об’єкта, що є оптимальною відносно деякого критерію. Отже, задачі ідентифікації та використання моделі є взаємно оберненими:

– задача використання моделі – визначення характеристики реакції об’єкта залежно від характеристик вхідних впливів

$$\theta_Y = F[\theta_X];$$

– задача ідентифікації – визначення виду та характеристики оператора перетворення на основі відомих θ_Y, θ_X

$$F = A[\theta_X, \theta_Y],$$

де A – алгоритм ідентифікації.

Ідентифікація починається з вибору класу моделі і поступового його звуження на основі експериментальних даних, доки цей клас не буде містити одну модель, яка і буде шуканою моделлю конкретного об’єкта.

Існують два підходи до задачі визначення класу моделі. Перший підхід – аналітичний і складається з аналізу принципів, на яких основана робота досліджуваного об’єкта. У цьому випадку характеристики моделі розраховуються. Другий підхід полягає в проведенні над досліджуваними об’єктами ряду експериментів з наступною математичною обробкою отриманої інформації.

Обидва ці підходи не усувають, а взаємно доповнюють один одного. Тільки застосовуючи їх одночасно, можна отримати прості, але достатньо адекватні моделі.

Для складних реальних об’єктів в більшості випадків повністю чи частково відсутня апріорна інформація про структуру об’єкта, і її потрібно отримати за тими самими реалізаціями вхідних і вихідних змінних, за якими визначаються параметри моделі об’єкта. Джерелом інформації про об’єкт в будь-якому випадку є дослід (експеримент). Розрізняють два види дослідів (рис. 7.11): пасивний і активний.

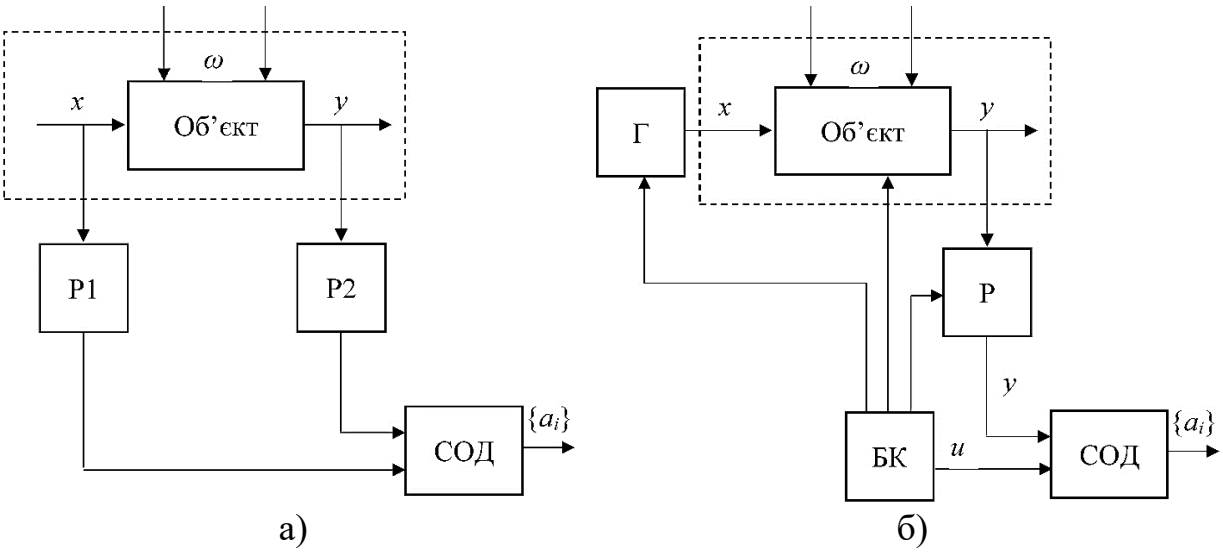


Рисунок 7.11 – Схеми експериментів: а) пасивний експеримент, б) активний експеримент: Р – реєстратор, СОД – система обробки даних, Г – генератор тестових сигналів, БК – блок керування, $\{a_i\}$ – вектор шуканих параметрів

Часто для отримання даних про процес використовують активно-пасивний реєстраційний експеримент. Він полягає в тому, що коливання вносять лише у деякі канали; водночас не ставиться задача строгої стабілізації інших параметрів. Наявність елементів активного експерименту дозволяє розширити діапазон зміни параметрів процесу, що забезпечує вищу достовірність отриманих даних.

7.2.1 Пасивна ідентифікація функціональної моделі

Пасивним (див. рис. 7.11, а) називається той експеримент, який проводиться шляхом спостереження змін стану об'єкта під дією зовнішніх впливів в процесі його нормального функціонування.

Перевагою пасивного методу ідентифікації є відсутність порушень природного режиму функціонування об'єкта, недоліком – неможливість створення тестових сигналів бажаного вигляду, більша тривалість експерименту й (іноді) збільшення обсягу обчислень під час визначення параметрів.

Процес отримання статичної моделі у математичній формі називається апроксимацією. Апроксимація (англ. *approximation)* – це наближений опис однією функцією (апроксимувальною) заданого вигляду іншої функції (апроксимованої), яка задається у будь-якому вигляді (за апроксимації даних вона задається у вигляді масивів даних). Нехай у таблиці експериментальних даних задано $(n + 1)$ точку (x_0, y_0), (x_1, y_1), …, (x_n, y_n) і необхідно визначити апроксимувальну криву $g(x)$ в діапазоні $x_0 \le x \le x_n$. Вибір типу функції $g(x)$ необхідно здійснювати з урахуванням характеру табличних даних (періодичності, властивості симетрії, існування асимптоти тощо). Як правило,

функція $g(x)$ вибирається у вигляді лінійної комбінації типових функцій $g_k(x)$:

$$g\left(x\right) = C_1 g_1(x) + C_2 g_2(x) + ... + C_k g_k(x)\,. \tag{7.37}$$

Найпоширенішим методом параметричної ідентифікації є апроксимація за методом найменших квадратів (МНК), тобто визначення параметрів евристично заданої функції за критерієм мінімуму середнього квадратичного відхилення цієї функції від експериментальних точок. Тоді із рівняння (7.37) загальна формула МНК у матричній формі запису набуває такого вигляду:

$$\boldsymbol{C} = [\boldsymbol{U}^T \cdot \boldsymbol{U}]^{-1} \cdot \boldsymbol{U}^T \cdot \boldsymbol{Y}\,, \tag{7.38}$$

де $\boldsymbol{C} = \begin{vmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdots \\ C_k \end{vmatrix}$, $\boldsymbol{Y} = \begin{vmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdots \\ y_n \end{vmatrix}$, $\boldsymbol{U} = \begin{vmatrix} g_1(x_1) & \cdots & g_k(x_1) \\ g_1(x_2) & \cdots & g_k(x_2) \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ g_1(x_k) & \cdots & g_k(x_n) \end{vmatrix}$.

За дуже малої кількості експериментальних даних ($n < 5$) може також використовуватись інтерполяційний підхід до ідентифікації статичних моделей. Інтерполяційна ідентифікація найчастіше виконується за допомогою формули Лагранжа:

$$y(x) = \sum_{i=0}^{n} \left[y_i \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n} \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \right], \tag{7.39}$$

де n – кількість експериментальних точок;

(x_i, y_i) – значення аргументу та функції в i-й експериментальній точці.

Очевидно, що степінь полінома Лагранжа дорівнює (n – 1). У разі збільшення степеня швидко зростає обчислювальна похибка, тому використовувати інтерполяцію для кількості точок $n > 5$ і, відповідно, степеня полінома, більшого за чотири, недоцільно.

Обробка результатів пасивного експерименту за великої кількості даних виконується статистичними методами. Для створення моделей статики у разі пасивного експерименту використовуються також методи кореляційного і регресійного аналізу, методи оцінювання параметрів моделі на основі критерію максимуму правдоподібності, мінімуму середнього ризику тощо. Ці методи є окремими випадками апроксимації за певних умов: нормальність розподілу ймовірностей експериментальних даних, близькість ідентифікованої залежності до лінійної тощо. Для визначення моделей динаміки об’єкта на основі пасивного експерименту найчастіше використовують зв’язок між спектральною щільністю потужності вхідних і вихідних сигналів і передатною функцією системи.

7.2.2 Активна ідентифікація функціональної моделі

Активний експеримент (див. рис. 7.11, б) передбачає генерування діючих на об'єкт тестових сигналів певної форми, що скорочує тривалість експерименту і спрощує наступне визначення параметрів моделі. Ці сигнали поділяються на регулярні і випадкові.

До регулярних сигналів відносять аперіодичні:

– ступінчаста функція

$$f(t)=\begin{cases}0, & t<\tau,\\ A, & t\geq\tau;\end{cases} \tag{7.40}$$

– прямокутний імпульс

$$f(t)=\begin{cases}A, & |t|<\dfrac{\tau}{2},\\ 0, & |t|\geq\dfrac{\tau}{2};\end{cases} \tag{7.41}$$

періодичної дії:

$$x(t)=A\sin\left(\omega t+\varphi\right), \tag{7.42}$$

де A – амплітуда сигналу;

ω, φ – відповідно частота і початкова фаза сигналу.

У випадку використання вхідного тестового сигналу у вигляді ступінчастої функції отримують вихідний сигнал, який відтворює перехідну характеристику об'єкта. Залежно від вигляду перехідної характеристики моделі задаються найчастіше одним з трьох видів передавальної функції:

– у вигляді передавальної функції інерційної ланки першого порядку

$$W_0(p)=\frac{Ke^{-\tau p}}{Tp+1}, \tag{7.43}$$

де K, T, τ – коефіцієнт підсилення, стала часу і час запізнювання, які необхідно визначити в області номінального режиму роботи об'єкта.

– другого порядку із запізнюванням

$$W_0(p)=\frac{Ke^{-\tau p}}{(T_1p+1)(T_2p+1)}, \tag{7.44}$$

– для об'єкта моделювання без самовирівнювання

$$W_0(p)=\frac{Ke^{-\tau p}}{p}. \tag{7.45}$$

Частотні методи визначення динамічних характеристик ґрунтуються на тому, що на вхід об'єкта подаються періодичні сигнали з відомими часто-

тою й амплітудою. Для цього найчастіше використовуються спеціальні генератори синусоїдальних сигналів з частотою, що змінюється за лінійним законом, і осцилографи-характерографи.

Частотні методи визначення динамічних характеристик об'єкта припускають наявність двох етапів, на яких визначаються:

1. Амплітудно-фазова частотна характеристика об'єкта

$$A(\omega)=\frac{A_y(\omega)}{A_x(\omega)},\ \Phi(\omega)=\varphi_y(\omega)-\varphi_x(\omega), \qquad (7.46)$$

де $A_x(\omega)$, $\varphi_x(\omega)$ – амплітуда і фаза вхідного синусоїдального сигналу з кутовою частотою ω;

$A_y(\omega)$, $\varphi_y(\omega)$ – амплітуда і фаза вихідного синусоїдального сигналу.

2. Передавальна функція об'єкта.

Найпростішим способом ідентифікації на основі результатів активного експерименту є побудова асимптотичної логарифмічної амплітудно-частотної характеристики (ЛАЧХ) $L = \lg A(m)$ і розбиття її на елементарні складові. Загальна передавальна функція отримується як добуток передавальних функцій елементарних ланок.

Такий спосіб отримання передавальної функції містить як структурний, так і параметричний етапи ідентифікації, оскільки порядок передавальної функції визначається кількістю і типом елементарних складових, а її параметри – значеннями частот ω_i.

Активний експеримент забезпечує високу достовірність інформації, проте експерименти, які пов'язані із дослідженням реакції, наприклад, на ступінчасті або синусоїдальні коливання, важко проводити на типових гідравлічних, енергетичних і теплових об'єктах, оскільки подібні експерименти можуть порушити процес або вивести його зі звичайного робочого режиму в аварійний. Окрім того, під час проведення активних експериментів важко в реальних виробничих умовах стабілізувати параметри процесу на заданому рівні протягом певного відрізку часу.

7.3 Статистична ідентифікація об'єктів моделювання

Статистичні методи ідентифікації використовуються як для обробки даних пасивного експерименту – за умови достатньо великої кількості даних, так і для обробки даних активного експерименту – за умови використання випадкових тестових сигналів.

Розглянемо статистичну постановку задачі ідентифікації, вважаючи, що вплив (вхідна змінна) $X(t)$ і реакція (вихідна змінна) $Y(t)$ являють собою випадкові функції або випадкові величини.

Нехай для одновимірного об'єкта, характеристикою якого є оператор A (рис. 7.12), можуть бути виміряні випадкові функції входу $X(t)$ і виходу

$Y(t)$. Тоді задача ідентифікації зводиться до визначення оператора A за результатами вимірювання цих функцій, причому через стохастичний характер функції визначається не сам оператор A_t, а його статистична оцінка A^*_t. Оскільки оцінка оператора A^*_t використовується як характеристика невідомого оператора A_t, необхідно наблизити оцінку оператора A^*_t до істинного значення оператора A_t, в розумінні деякого критерію, тобто має бути виконана умова близькості випадкової функції $Y^*(t) = A_t^* X(t)$ до випадкової функції $Y(t)$, яка є вихідною змінною об'єкта.

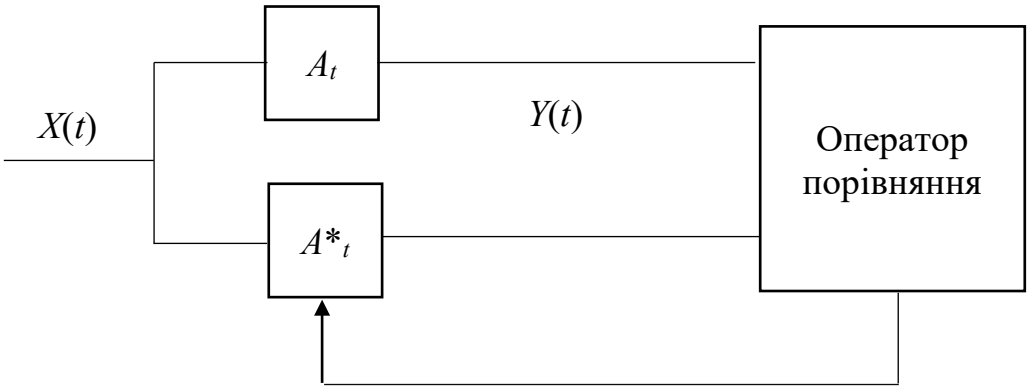


Рисунок 7.12 – Схема процесу ідентифікації

Для успішного проведення активного експерименту необхідно дотримуватись таких умов:

– точність, з якою задаються незалежні вхідні змінні x, які не є випадковими величинами, має бути високою. До точності вимірювань вхідної випадкової величини висуваються менш жорсткі вимоги;

– кожна з незалежних змінних не має бути лінійною комбінацією решти незалежних змінних;

– інтервал між значеннями вихідних змінних не має бути меншим (або дорівнювати) похибці, з якою задають цей інтервал.

7.3.1 Статистичне оцінювання законів розподілу випадкових величин

Під час функціонування системи або її елемента протягом деякого часу t випадкова величина X може набути n певних значень. Сукупність значень випадкової величини називається статистичною вибіркою обсягу n. Якщо розташувати окремі значення випадкової величини X в зростаючому або спадному порядку і вказати для кожного значення, як часто воно зустрічалося в цій сукупності, то вийде емпіричний розподіл випадкової величини, або варіаційний ряд, на підставі якого визначаються: аналітична форма невідомої щільності ймовірності $f(x)$, функція розподілу $F(x)$ та оцінюються її параметри.

Під час побудови варіаційного ряду весь діапазон значень неперервної випадкової величини X розбивається на інтервали. Після чого підраховується кількість, значень m_i випадкової величини X, що припадає на кожний інтервал, і визначається частота її потрапляння в цей інтервал:

$$p_i^* = \frac{m_i}{n}. \tag{7.47}$$

Якщо випадкова величина X набуває значення, що потрапляє на межу i-го та (i+1)-го інтервалів, то це значення враховується в числі потраплянь в (i+1)-й інтервал.

Оптимальна довжина інтервалу визначається за формулою:

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,21 \cdot \lg n}, \tag{7.48}$$

де $x_{max} - x_{min}$ – розмах варіації випадкової величини X.

Тоді число інтервалів визначається за таким виразом:

$$k = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{\Delta x}.$$

Якщо k не ціле число, то як кількість, інтервалів вибирається найближче до k ціле число, не менше за k. Варіаційні ряди можуть бути зображені графічно у вигляді полігону розподілу гістограми.

На основі гістограми звичайно роблять припущення про вид закону розподілу ймовірностей. Параметри закону розраховують статистичною обробкою даних.

1. Середнє значення змінної визначається за формулою:

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \tag{7.49}$$

де x_i – емпіричне значення змінної x;

n – число спостережень.

2. Дисперсія:

$$D_x = \sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \overline{x}\right)^2}{n-1}. \tag{7.50}$$

За великої кількості даних ($n < 30$):

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \overline{x}\right)^2}{n}.$$

Правильність визначення виду закону розподілу ймовірностей обов’язково перевіряють за допомогою критеріїв узгодження. Найпоширенішим є

критерій Стьюдента, який використовує розподіл помилок обчислень ймовірностей X^2.

7.3.2 Кореляційний аналіз

Кореляційний аналіз призначений для виявлення лінійних статистичних залежностей між параметрами системи (кореляція на множині параметрів) і для ідентифікації моделі динаміки системи (кореляція у часі).

Статистичний зв'язок полягає в тому, що одна випадкова змінна реагує на зміну значення іншої змінної відповідною змінною свого закону розподілу ймовірності (порівняйте: між x та y існує функціональна залежність, якщо кожному можливому значенню x відповідає однозначно визначене значення y). Найчастіше розглядається зміна не всього закону, а окремих його моментів, наприклад

$$M(Y/X = x) = \varphi_Y(x).$$

Тоді статистична залежність між випадковими процесами – модель регресії – має вигляд:

$$y(t) = \overline{y}(t) + \varepsilon, \tag{7.51}$$

де $y(t)$ – реальне значення випадкового процесу;

$\overline{y}(t)$ – значення випадкового процесу, отримане за допомогою функції регресії $\overline{y} = M(Y / X = x) = \varphi_Y(x)$;

ε – випадкова величина, що характеризує вплив неврахованих факторів.

Дослідження кореляційних зв'язків називається кореляційним аналізом. Але не кожна функція або кореляція відповідає причинній залежності між явищами.

Завданням кореляційного аналізу є:

– вимірювання ступеня зв'язності (тісноти, сили) двох і більше явищ. Тут мова йде, переважно, про підтвердження вже відомих зв'язків;

– відбір факторів, що роблять найбільш істотний вплив на результативну ознаку на основі вимірювання тісноти зв'язку між явищами;

– виявлення невідомих причинних зв'язків. Кореляція безпосередньо не виявляє причинних зв'язків між явищами, але встановлює ступінь необхідності цих зв'язків і достовірність суджень про їх наявність. Причинний характер зв'язків з'ясовується за допомогою логічно-професійних міркувань, які розкривають механізм зв'язків.

Нехай x, y – випадкові величини, які мають спільний нормальний розподіл. Зв'язок між x та y може бути описаний за допомогою коефіцієнта кореляції:

$$\rho = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = M\left\{\frac{X - M(x)}{\sigma_x} \cdot \frac{Y - M(y)}{\sigma_y}\right\}, \tag{7.52}$$

де $M(*)$ – математичне сподівання (операція усереднення);

K_{xy} – взаємна коваріаційна функція випадкових величин;

σ_x, σ_y – середні квадратичні відхилення.

За обмеженої вибірки розраховується вибірковий коефіцієнт кореляції:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})(y_i - \overline{y})}{(n-1)\sigma_x\sigma_y}, \tag{7.53}$$

де n – розмір вибірки.

Властивості коефіцієнта кореляції:

1. Коефіцієнт кореляції набуває значення у проміжку (-1; 1).

2. Коефіцієнт кореляції не залежить від одиниць вимірювання величин та від кількості спостережень.

3. Якщо коефіцієнт кореляції $r_{xy} > 0$, то маємо додатну кореляцію, тобто зі збільшенням значень однієї змінної (x) значення іншої (y) відповідно збільшуються, а зі зменшенням – навпаки.

4. Якщо коефіцієнт кореляції $r_{xy} < 0$, то маємо від'ємну кореляцію, тобто зі збільшенням значень (x) значення (y) відповідно зменшується.

5. Якщо величини x і y незалежні, то $r_{xy} = 0$.

6. Якщо $r_{xy} = 0$, то випадкові величини x і y є некорельовані, але це не означає, що вони незалежні, між ними може існувати нелінійна залежність, яка під час розкладання її у степеневий ряд не має лінійного члена. Якщо є підґрунтя для посилання на те, що між x і y існує статистична залежність, яка близька до деякої функції $f(x)$, то можна спробувати шукати кореляцію $r_{x'y}$ між змінною $x' = f(x)$ і y. Категоричний висновок можна зробити на основі дослідження повніших характеристик випадкових величин (процесів), а саме: законів розподілу ймовірностей. Процеси є незалежними, якщо $f(x, y) = f(x) * f(y)$ або $f(y/x) = f(y)$.

В процесі вивчення явища, залежно від багатьох факторів, для характеристики тісноти зв'язку використовується коефіцієнт множинної кореляції:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left(y - y_{/x_i x_j}\right)^2}{n\sigma_y^2}}. \tag{7.54}$$

Залишкова дисперсія визначається за такою формулою:

$$\sigma^2_{зал} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - y_{iT}\right)^2}{n-1}, \tag{7.55}$$

де y_{iT} – теоретичні значення змінної.

Залишкова дисперсія характеризує ту частину розсіювання змінної y, яка виникає через різного роду випадковості і вплив неврахованих факторів.

Коефіцієнт детермінації використовується для оцінення точності регресії, тобто відповідності отриманого рівняння регресії наявним емпіричним даним:

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma^2_{зал}}{\sigma^2_{пов}}, \ (0 \le R^2 \le 1), \tag{7.56}$$

де $\sigma^2_{пов}$ – повна дисперсія, тобто $\sigma^2_{пов} = \sigma^2_Y$.

Модель вважається тим точнішою, чим ближче коефіцієнт детермінації R^2 до 1. Коефіцієнт детермінації характеризує статистичну залежність навіть у тих випадках, коли лінійна частина цієї залежності відсутня.

Чутливість однієї змінної до іншої $\beta_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma^2_x}$.

Кореляційний аналіз найчастіше є першим етапом статистичної ідентифікації і його результати використовуються в інших видах аналізу: спектральному, факторному, регресійному.

7.3.3 Факторний аналіз

Під час побудови моделі будь-якої системи завжди виникає питання, які впливи на систему (фактори) є суттєвими і мають бути враховані в моделі, а якими можна знехтувати без втрати адекватності та значного зменшення точності. Задача може бути розв'язана повним перебором усіх можливих комбінацій значень факторів. Але трудомісткість такого підходу зростає пропорційно факторіалу від кількості безпосередньо самих факторів. Методи факторного аналізу дозволяють розв'язати цю проблему з меншою трудомісткістю.

Для проведення факторного аналізу інформація має бути подана у вигляді двовимірної таблиці чисел (матриці вхідних даних). Рядки цієї матриці мають відповідати окремим спостереженням X (i = 1, 2, …, n), стовпці – вихідним величинам Y (j = 1, 2, …, m).

Основна модель факторного аналізу має вигляд:

$$\begin{cases} X = \{V, U\}; \\ Y_j = a_{j1}V_1 + a_{j2}V_2 + \ldots + a_{ip}V_p + d_jU_j \quad (j = 1, 2, \ldots, m), \end{cases} \tag{7.57}$$

де y_j – j-а вихідна величина;

V_1, V_2, …, V_p – загальні фактори (вхідні випадкові величини, які мають нормальний закон розподілу);

U_j – характерний фактор;

a_{j1}, a_{j2}, …, a_{jp} – факторні навантаження, які характеризують ступінь впливу кожного фактора (це самі ті параметри моделі, які підлягають визначенню);

d_j – навантаження характерного фактора.

Термін «загальний фактор» підкреслює, що кожен такий фактор має суттєве значення для аналізу всіх величин.

Термін «характерний фактор» показує, що він належить тільки до певної *j*-ї вхідної величини. Це спеціальна величина, яка не може бути виражена через фактори V_k.

Факторні навантаження a_{j1}, a_{j2}, …, a_{jp} характеризують величину впливу того чи іншого загального фактора на варіацію цієї величини. Основна задача факторного аналізу – визначення факторних навантажень. Факторна модель належить до класу апроксимувальних. Параметри моделі мають бути такими, щоб найкращим чином, з погляду певного критерію, апроксимувати функцію зв'язку між спостережуваними величинами.

Дисперсію вхідної величини σ_j^2 можна розкласти на складові: частину, зумовлену дією загальних факторів h_j^2, і частину, зумовлену дією *j*-го характерного фактора d_j^2 .

Якщо загальний і характерний фактори не корелюють між собою, а значення факторів нормалізовані, то дисперсію *j*-ої вхідної величини можна подати у вигляді:

$$\sigma_j^2 = 1 + \sigma_{j1}^2 + \sigma_{j2}^2 + \ldots + \sigma_{jp}^2 + d_j^2, \tag{7.58}$$

де σ_{jp}^2 – частина дисперсії величини y_p, яка припадає на *k*-й фактор.

Повний внесок *k*-го фактора у сумарну дисперсію вхідних величин:

$$D_k = \sum_{j=1}^{m} a_{jk}^2 \ \ (k = 1, 2, \ldots, p). \tag{7.59}$$

Внесок загальних факторів в сумарну дисперсію $D = \sum_{k=1}^{p} D_k$.

Використовуючи модель (7.58), вираз для кожної з вихідних величин може бути записаний у такому вигляді:

$$\begin{cases} y_1 = a_{11}V_1 + a_{12}V_2 + \ldots + a_{1p}V_p + d_1U_1, \\ y_2 = a_{21}V_1 + a_{22}V_2 + \ldots + a_{2p}V_p + d_2U_2, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ y_m = a_{m1}V_1 + a_{m2}V_2 + \ldots + a_{mp}V_p + d_mU_m. \end{cases} \tag{7.60}$$

Коефіцієнти системи (7.60) – факторні навантаження, які можуть бути подані у вигляді матриці, кожний рядок якої відповідає вихідній величині, а стовпець – фактору. Вихідною інформацією для побудови факторної моделі (7.58) є матриця вибіркових парних коефіцієнтів кореляції. Таблиця таких коефіцієнтів кореляції називається факторною структурою.

Факторні навантаження можуть бути виражені через коефіцієнти кореляції:

$$\begin{cases} r_{y_jV_1} = a_{j1} + a_{j2} r_{V_1V_2} + \ldots + a_{jp} r_{V_1V_p}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots; \\ r_{y_jV_k} = a_{j1} r_{V_kV_1} + a_{j2} r_{V_kV_2} + \ldots + a_{jp} r_{V_kV_p}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots; \\ r_{y_jV_P} = a_{j1} r_{V_pV_1} + a_{j2} r_{V_pV_2} + \ldots + a_{jp}; \\ r_{y_zU} = d_j, \end{cases} \tag{7.61}$$

де $r_{y_jV_k}$ – коефіцієнт кореляції між *j*-ю вихідною величиною і *k*-м фактором;

$r_{V_kV_p}$ – коефіцієнти кореляції між *k*-м і *p*-м факторами.

Якщо припустити, що загальні фактори між собою некорельовані, то рівняння (7.61) може бути записано у вигляді:

$$r_{y_jV_k} = a_{jk} \quad (j = 1, 2, \ldots, m; k = 1, 2, \ldots, p), \tag{7.62}$$

тобто факторні навантаження дорівнюють елементам факторної структури.

Наявність попарної кореляційної залежності між факторами називають мультиколінеарністю. Умовою мультиколінеарної залежності є присутність значення коефіцієнта парної кореляції $r_{V_jV_k} \geq 0,70 / 0,80$.

До недоліків мультиколінеарності відноситься таке:

1) ускладняється процедура вибору головних чинників;

2) спотворюється зміст коефіцієнта множинної кореляції (він припускає незалежність факторів);

3) ускладнюються обчислення під час побудови самої моделі;

4) знижується точність оцінки параметрів регресії, спотворюється оцінка дисперсії.

Дослідник має намагатися встановити стохастичну мультиколінеарність самостійно, а також, за змоги, здійснити її усунення. Для вимірювання мультиколінеарності може бути використаний коефіцієнт множинної детермінації.

За відсутності мультиколінеарності факторів:

$$\eta = \sum_{i=1}^{m} d_{yj}, \tag{7.63}$$

де d_{yj} – коефіцієнт парної детермінації.

За наявності мультиколінеарності співвідношення (7.63) не виконується. Тому як міра мультиколінеарності використовується різниця:

$$M = \eta - \sum_{i=1}^{m} d_{yj}. \tag{7.64}$$

Для усунення мультиколінеарності використовується метод виключення змінних, за допомогою якого сильно корельовані фактори усува-

ються з регресії, після чого оцінювання здійснюється заново. Відбір змінних, що підлягають видаленню, проводиться за допомогою коефіцієнтів парної кореляції. Досвід показує, що за $\left|r_{yj}\right| \geq 0.70$, одна зі змінних може бути видалена.

Використовуючи побудовану факторну модель, коефіцієнти кореляції між вихідними величинами можуть бути знову обчислені з подальшим порівнянням їх з початковими коефіцієнтами кореляції. Різниця між ними є залишковим коефіцієнтом кореляції.

У випадку незалежності факторів для обчислення коефіцієнтів кореляції між параметрами достатньо взяти суму добутків відповідних факторних навантажень:

$$r'_{jk} = a_{j1}a_{k1} + a_{j2}a_{k2} + \ldots + a_{jp}a_{kp} \quad (j \neq k,\ k = 1, 2, \ldots, p),$$

де r'_{jk} – коефіцієнт кореляції між j-ю і k-ю вхідними величинами.

Залишковий коефіцієнт кореляції:

$$\overline{r}_{jr} = r_{jr} - r'_{jr}. \tag{7.65}$$

Для отримання матриці факторних навантажень найбільше поширення отримав метод головних факторів, який базується на принципі послідовних наближень і дозволяє досягти будь-якої точності.

Редукованою матрицею називається матриця вибіркових коефіцієнтів кореляції $\tilde{R}$, у якої по головній діагоналі стоять значення дисперсій загальних факторів h_k^2 $(1, 2, \ldots, p)$:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} h_1^2 & r_{21} & r_{31} & \ldots & r_{m1} \\ r_{12} & h_2^2 & r_{32} & \ldots & r_{m1} \\ \ldots. & \ldots. & \ldots. & \ldots & \ldots. \\ r_{1m} & r_{2m} & r_{3m} & \ldots & h_m^2 \end{bmatrix}. \tag{7.66}$$

Процедура знаходження факторних навантажень, тобто матриці A, складається із декількох кроків: на першому кроці шукають факторні навантаження при першому факторі так, щоб сума внесків цього фактора в сумарну загальну дисперсію $D_1 = a_{11}^2 + a_{21}^2 + \ldots + a_{p1}^2$ була максимальною. Максимальне значення сумарної загальної дисперсії D_1 визначається за умови:

$$r_{j\xi} = \sum_{k=1}^{p} a_{jk}a_{\xi k} \quad (j, \xi = 1, 2, \ldots, m), \tag{7.67}$$

де $r_{j\xi} = r_{\xi j}$, r_{jj} – дисперсія h_j^2 загального параметра z_j.

Після чого обчислюється матриця коефіцієнтів кореляції з урахуванням тільки першого фактора $R'_2 = a_1 a'_1$, на основі якої визначається перша матриця залишків: $R_1 = \tilde{R} - R'_1$.

На другому кроці визначається навантаження на другому факторі так, щоб сума внесків другого фактора у залишкову загальну частину (тобто повну загальну частину без урахування тієї частини, яка припадає на частину першого фактора) була максимальною. Сума квадратів навантажень при другому факторі:

$$D_2 = a_{12}^2 + a_{22}^2 + \ldots + a_{p2}^2 .$$

Максимальне значення сумарної загальної дисперсії D_2 визначається за умови:

$$\overline{r}_{j\xi}^{1} = \sum a_{jk}^{1} a_{\xi k}^{1} \quad (j, \xi = 1, 2, \ldots, m), \tag{7.68}$$

де $\overline{r}_{j\xi}^{1}$ – коефіцієнт кореляції з першої матриці залишків;

a_{jk}^{1}, $a_{\xi k}^{1}$ – факторні навантаження з урахуванням другого фактора.

Після цього обчислюється матриця коефіцієнтів кореляції з урахуванням другого фактора і визначається друга матриця залишків $\overline{R}_2 = \overline{R}_1 - R_2'$ і так далі. Адекватність факторної моделі оцінюється за матрицею залишків (якщо величини її коефіцієнтів малі, тоді модель вважається адекватною).

7.3.4 Регресійний аналіз

Регресійний аналіз призначений для побудови моделі статики шляхом статистичної обробки результатів пасивного експерименту.

Одностороння ймовірнісна залежність між випадковими величинами – це регресія. Регресія є окремим випадком апроксимації, коли для побудови залежності використовується достатня для статистичного аналізу кількість експериментальних даних.

Регресія класифікується за такими видами:

1. За кількістю змінних: проста регресія $y = f(x)$ – регресія між двома змінними y і x; множинна регресія $y = f(x_1, x_2, \ldots, x_m)$ – регресія між залежною змінною y і декількома впливовими факторами $x_1, x_2, \ldots, x_m$.

2. За формою залежності: лінійна регресія, виражається лінійною функцією параметрів; нелінійна регресія, виражається нелінійною функцією параметрів.

3. За типом впливу величин: безпосередня регресія (залежна змінна і впливові фактори пов’язані між собою безпосередньо); непряма регресія (впливовий фактор діє на залежну змінну через ряд інших змінних); помилкова регресія (виникає за формального підходу до досліджуваних явищ без з’ясування того, які причини зумовлюють цей зв’язок).

Поняття «регресія» тісно пов’язане із «кореляцією». У кореляційному аналізі оцінюється сила зв’язку, а в регресійному аналізі досліджується його форма.

Завдання регресійного аналізу: встановлення форми залежності (лінійна або нелінійна); визначення функції регресії і встановлення впливу факторів на залежну змінну; оцінення невідомих значень залежної змінної, тобто розв'язання задач екстраполяції та інтерполяції.

Вибіркове рівняння регресії

Умовне математичне сподівання випадкової величини $M(Y|X)$ є функція від X, яка називається функцією регресії і дорівнює $f(x)$, тобто:

$$M\left(Y \mid X\right) = \overline{y}_x = f(x), \tag{7.69}$$

аналогічно

$$M\left(Y \mid X\right) = \overline{x}_y = \varphi(y). \tag{7.70}$$

Графічне зображення $f(x)$ або $\varphi(y)$ називається лінією регресії, а записані рівняння (7.69) і (7.70) – рівняннями регресії.

Оскільки умовне математичне сподівання M випадкової величини Y є функція від x, то його оцінка $\overline{y}_x$ (умовна середня) також є функцією від x:

$$\overline{y}_x = f^*(x). \tag{7.71}$$

Рівняння (7.71) визначає вибіркове рівняння регресії y на x. Сама функція $f^*(x)$ називається вибірковою регресією Y на X, а графік $f^*(x)$ – вибірковою регресією.

Функція регресії незворотна, тому що мова йде про середні величини для деякого конкретного значення фактора.

Лінійна регресія

Нехай задано систему випадкових величин X і Y, тоді модель регресії має вигляд:

$$y(t) = \overline{y}(t) + \varepsilon, \tag{7.72}$$

де $y(t)$ – реальне значення випадкового процесу;

$\overline{y}(t)$ – значення випадкового процесу, отримане за допомогою функції регресії;

ε – випадкова величина, що характеризує вплив неврахованих факторів, найчастіше – білий шум.

Функція регресії випадкової змінної y відносно x – це умовне математичне сподівання $M(Y|X)$ випадкової змінної, тобто

$$\overline{y}(x) = M\left(Y \mid x\right) = \varphi\left(x, b_1, b_2, \ldots, b_m\right). \tag{7.73}$$

Крива регресії є емпіричною оцінкою функції регресії. Для знаходження параметрів регресії застосовується метод найменших квадратів. Практичний спосіб визначення коефіцієнтів рівняння регресії ґрунтується на

припущеннях: лінійна залежність між змінними; значення помилки нормально розподілене з середньою і постійною дисперсією D; усі процеси є стаціонарними.

Тоді функція лінійної регресії має вигляд:

$$M_{y/x} = M_y + r_{xy}\frac{\sigma_y}{\sigma_x}\left[x - M_x\right], \tag{7.74}$$

де M_x – математичне сподівання випадкової змінної X;

M_y – математичне сподівання випадкової змінної Y;

$M_{y/x}$ – математичне сподівання випадкової змінної Y, за умови, що $X = x$;

r_{xy} – коефіцієнт кореляції змінних X і Y;

σ_y, σ_x – середні квадратичні відхилення змінних X і Y;

$\beta = r_{xy}\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ – коефіцієнт регресії.

Запишемо рівняння лінійної регресії у вигляді:

$$M_{y/x} = M_y + r_{xy}\frac{\sigma_y}{\sigma_x}\left[x - M_x\right] = \left[M_y - r_{xy}\frac{\sigma_y}{\sigma_x}M_x\right] + r_{xy}\frac{\sigma_y}{\sigma_x}x = b + ax.$$

Регресію називають лінійною, оскільки умовне математичне сподівання $M_{y/x}$ є лінійною функцією параметрів регресії (a, b). Отже, можна також розглядати лінійну регресію y відносно нелінійної функції $f(x)$.

Залишкова дисперсія лінійної регресії:

$$D_{y/x} = D_y\left(1 - r_{xy}^2\right). \tag{7.75}$$

Під час побудови багатовимірних залежностей використовується коефіцієнт множинної регресії.

Множинна лінійна регресія подається в такій формі:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_mx_m, \tag{7.76}$$

де y – функція регресії;

$x_1, x_2, \ldots, x_m$ – незалежні змінні;

$a_1, a_2, \ldots, a_m$ – коефіцієнти регресії;

a_0 – вільний член рівняння;

m – число факторів, що входять до моделі.

Для визначення параметрів множинної регресії також використовується метод найменших квадратів, який доцільно реалізовувати програмними засобами через велику кількість лінійних рівнянь.

Спектральний аналіз

Для ідентифікації моделі динаміки лінійних систем використовують авто- та взаємно-кореляційні функції. Проте це потребує досить складних математичних перетворень. Значно простіше (як з огляду на складність об-

робки даних, так і на практичну реалізацію експериментів) здійснювати ідентифікацію на основі спектрів сигналів (для детермінованих сигналів в умовах активного експерименту), або на основі спектральних щільностей (для випадкових сигналів в умовах пасивного експерименту).

Гармонічний спектр детермінованого сигналу є функцією амплітуд гармонічних складових від частоти $A(\omega)$. Проте у пасивному експерименті практично не зустрічаються детерміновані сигнали, а для випадкових сигналів спектр не є коректною характеристикою, оскільки на кожному проміжку часу він різниться. Тому для стохастичних сигналів знаходять і використовують для ідентифікації усереднену спектральну характеристику – спектральну щільність.

Спектральна щільність $G(\omega)$ стаціонарного випадкового процесу $x(t)$ – це частотна функція, що характеризує спектральний (частотний) склад процесу і являє собою частотну характеристику для середніх значень квадратів амплітуд гармонік, на які може бути розкладений випадковий процес. Спектральна щільність являє собою перетворення Фур'є від кореляційної функції:

$$G_{xx}(j\omega) = \int_0^\infty R_{xx}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau , \tag{7.77}$$

$$G_{xy}(j\omega) = \int_0^\infty R_{xy}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau . \tag{7.78}$$

де $G_{xx}(\omega)$ – автоспектральна щільність,

$G_{xy}(\omega)$ – взаємна спектральна щільність.

За своїм фізичним змістом спектральна щільність є величиною, яка пропорційна середній потужності процесу в інтервалі частот від ω до $\omega + \Delta\omega$.

Отже, для дослідження об'єктів і систем з випадковим вхідним впливом необхідно обчислення або кореляційних функцій $R(\tau)$, або спектральних щільностей $G(j\omega)$ вхідних і вихідних змінних.

Для встановлення взаємозв'язку між кореляційними функціями змінних входу і виходу системи, а також взаємозв'язки між їх спектральними щільностями використовується відоме інтегральне рівняння Дюамеля:

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^\tau R_{xx}(\tau_1) g(\tau - \tau_1) d\tau_1 , \tag{7.79}$$

де $g(\tau)$ – імпульсна перехідна функція системи;

τ_1 – допоміжний час інтегрування.

З наведених вище виразів може бути отриманий зв'язок між спектральними щільностями вхідної і вихідної величин об'єкта у разі випадкових стаціонарних процесів:

$$\begin{cases} G_{xy}(j\omega) = G_{xx}(j\omega) \cdot W(j\omega); \\ G_{yy}(j\omega) = G_{xy}(j\omega) \cdot W^*(j\omega); \\ \left|G_{yy}(j\omega)\right| = \left|W(j\omega)\right|^2 \cdot \left|G_{xx}(j\omega)\right|, \end{cases} \quad (7.80)$$

де $W(j\omega)$ – частотна передатна функція системи;

$W^*(j\omega)$ – комплексно спряжена частотна передатна функція.

Таким чином, передатну функцію системи можна визначити на основі спектральних щільностей стаціонарного випадкового процесу на вході і виході системи:

$$W(j\omega) = \frac{G_{xy}(j\omega)}{G_{xx}(j\omega)}. \quad (7.81)$$

Якщо відомі лише модулі спектральних щільностей (у випадку реєстрації приладами лише амплітудних характеристик сигналів), тоді може бути визначена амплітудно-частотна характеристика системи:

$$A(\omega) = \left|W(j\omega)\right| = \sqrt[2]{\frac{\left|G_{xy}(j\omega)\right|}{\left|G_{xx}(j\omega)\right|}}. \quad (7.82)$$

Визначення передатної функції на основі її модуля може здійснюватися шляхом отримання виразу передатної функції за допомогою активного експерименту із синусоїдальними сигналами.

7.4 Планування експерименту

Планування експерименту (ПЕ) – це процедура вибору кількості та умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення з необхідною точністю та достовірністю поставленого завдання.

Метою ПЕ, як правило, є отримання ММ досліджуваного об’єкта або процесу. Під час планування експерименту досліджуваний об’єкт подається «чорним ящиком» (див. рис. 7.7), на який впливають фактори x_i. Кожен фактор x_i може набувати певної кількості значень, що називаються рівнями факторів. Безліч можливих рівнів фактора x_i називається областю його визначення. Фактори мають бути сумісними і незалежними. Сумісність передбачає допустимість будь-якої комбінації факторів, а незалежність – відсутність між факторами кореляційного зв’язку.

Під час планування експерименту необхідних властивостей ММ досягають, вибираючи умови проведення дослідів. Безліч точок факторного простору, в яких проводиться експеримент, подається за допомогою плану експерименту:

$$x = \begin{Vmatrix} x_1(1) & x_2(1) & \cdots & x_n(1) \\ x_1(2) & x_1(2) & \cdots & x_1(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1(N) & x_1(N) & \cdots & x_1(N) \end{Vmatrix} - \begin{Vmatrix} x(1) \\ x(2) \\ \vdots \\ x(N) \end{Vmatrix}, \qquad (7.83)$$

де n – число факторів;

N – число точок факторного простору.

Точка $x^{(0)} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} x(j)$ називається центром плану. Якщо центр плану збігається з початком координат, то план називається центральним.

7.4.1 Повний факторний експеримент

У повному факторному експерименті (ПФЕ) досліджується один параметр і реалізуються всі можливі поєднання рівнів факторів.

Для кожного фактора вибираються два рівні – верхній і нижній, на яких фактор варіюється. Половина різниці між верхнім і нижнім рівнями називається інтервалом варіювання. Інтервал варіювання має бути більшим за похибку вимірювання рівня фактора (обмеження знизу), а верхній і нижній рівні фактора не мають виходити за межі області його визначення (обмеження зверху). На практиці інтервал варіювання зазвичай становить 3–10 % від області визначення.

У разі двох рівнів для кожного з n факторів загальна кількість дослідів становить $2n$. ПФЕ – це експеримент типу $2n$, що дозволяє отримати математичну модель досліджуваного об’єкта у вигляді рівняння множинної регресії або за лініями:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=i+1}^{n} b_{ik} x_i x_k + \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=i+1}^{n}\sum_{i=k+l}^{n} b_{ikl} x_i x_k x_l + \ldots, \qquad (7.84)$$

де b_0 – вільний член;

b_i, b_{ik}, b_{ikl} – коефіцієнти рівняння множинної регресії.

Залежно від обсягу апріорної інформації в ММ вносять не всі, а лише деякі взаємодії першого порядку, інколи – взаємодії другого порядку і рідко – взаємодії вище третього порядку.

Для зручності розрахунків масштаб факторів вибирають так, щоб значення верхнього рівня дорівнювало +1, а нижнього –1. З цією метою роблять перетворення початку координат факторів і переходять до нормованого (стандартного) масштабу:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{I}, \qquad (7.85)$$

де x_i – нормоване значення,

$\tilde{x}_i$ – натуральне значення,

$\tilde{x}_{i0}$ – основний рівень,

$I = \tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}$ – інтервал варіювання.

План ПФЕ зображають у вигляді таблиці, стовпці якої відображають рівні факторів, а рядки – номери дослідів. Ці таблиці називають матрицями планування (МП) експерименту. Оскільки значення рівнів факторів за модулем завжди дорівнюють одиниці, то зазвичай в МП записують тільки знак рівня (тобто «+» замість «1» і «–» замість «–1»). У таблиці 7.1 наведено МП для ПФЕ типу 2^3, яка поєднує базову матрицю типу 2^2 з нижнім і верхнім рівнями x^3.

Таблиця 7.1 – Матриця планування ПФЕ типу 2^3

N	x_1	x_2	x_3	y
1	–	–	–	y_1
2	+	–	–	y_2
3	–	+	–	y_3
4	+	+	–	y_4
5	–	–	+	y_5
6	+	–	+	y_6
7	–	+	+	y_7
8	+	+	+	y_8

Геометричною інтерпретацією ПФЕ 2^3 є куб у факторному просторі – куб (рис. 7.13, а). На факторній площині (рис. 7.13, б) нормовані координати x_1 і x_2 проходять через точку перетину основних рівнів факторів, і масштаб їх осей вибрано так, щоб інтервал варіювання дорівнював 1. Тоді умови проведення дослідів в МП експерименту будуть відповідати вершинам квадрата, центром якого є основний рівень.

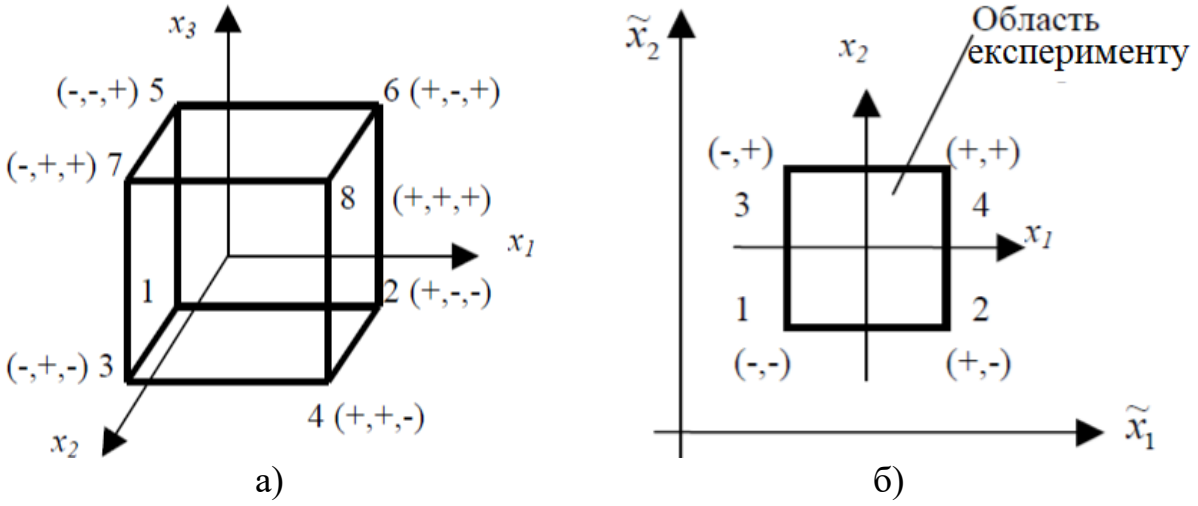


Рисунок 7.13 – Геометрична інтерпретація ПФЕ:
а) для експерименту типу 2^3; б) факторна площина $\tilde{x}_1\tilde{x}_2$

Вплив факторів на вихідний параметр може залежати від рівня, на якому знаходиться інший фактор, або від відліку рівнів декількох факторів. Якщо апріорі не відомо, що такої залежності між факторами немає, то будують розгорнуту МП, що враховує не тільки фактори, але й їх взаємодію (табл. 7.2). У цьому випадку знаки в стовпцях для взаємодій отримують перемноженням знаків взаємодіючих факторів.

Таблиця 7.2 – Розгорнута МП для ПФЕ типу 2^3

N	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1x_2 x_3$	y
1	+	–	–	–	+	+	+	–	y_1
2	+	+	–	–	–	–	+	+	y_2
3	+	–	+	–	–	+	–	+	y_3
4	+	+	+	–	+	–	–	–	y_4
5	+	–	–	+	+	–	–	–	y_5
6	+	+	–	+	–	+	–	–	y_6
7	+	–	+	+	–	–	+	–	y_7
8	+	+	+	+	+	+	+	+	y_8

Фіктивний фактор x_0 вводять для зручності комп'ютерного розрахунку вільного члена b_0 (для ідентичності формул).

Основні властивості МП експерименту:

а) симетричність відносно центра експерименту – $\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 0$, де i – номер фактора, j – номер досліду, N – число дослідів;

б) умова нормування – $\sum_{j=1}^{N} \left| x_{ij} \right| = N$;

в) ортогональність – $\sum_{j=1}^{N} x_{ij} x_{fj} = 0$, якщо $i \neq f$;

г) рототабельність – властивість рівномірного передбачення досліджуваного параметра на рівних відстанях від центра експерименту незалежно від напрямку.

Матриця, що задовольняє умови симетричності, нормування та ортогональності, називається оптимальною. Матриця планування ПФЕ є оптимальною для лінійних ММ. Якщо ж ММ містить взаємодії, то властивість рототабельності не виконується.

Для оцінення точності експерименту для кожної i-ї точки факторного простору (для кожного поєднання рівнів факторів МП) проводять K дослідів. Отримують значення $y_{i1}, y_{i2}, \ldots, y_{iK}$ досліджуваного параметра, для яких знаходять середнє значення:

$$\overline{y} = \frac{1}{K} \sum_{t=1}^{K} y_{it} . \qquad (7.86)$$

У цьому випадку досліди в одній точці проводяться не послідовно, а обходять усі точки в першій серії дослідів, потім у другій і таким чином покроково до *K*-ї. Для зменшення впливу зовнішнього середовища і неконтрольованих факторів усередині кожної серії точки факторного простору обходять випадковим чином.

Дослід вважається відтворюваним, якщо дисперсія D_{yi} вихідного параметра y_i однорідна в кожній точці факторного простору. Оцінка S_{yi} дисперсії D_{yi} визначається для кожної точки факторного простору за формулою:

$$S_{yi}^2 = \frac{1}{K-1}\sum_{t=1}^{K}\left(y_{yt} - \overline{y}_i\right)^2. \tag{7.87}$$

Гіпотезу однорідності (рівності) дисперсій перевіряють за допомогою критерію Кохрена:

$$G_P = \frac{\max S_{yj}^2}{\sum_{i=1}^{N} S_{yj}^2}, \tag{7.88}$$

а його критичне значення $G_{кр}$ визначають із таблиці розподілу Кохрена за числом ступенів вільності чисельника $f = K–1$, знаменника $f = N$ і рівнем значущості q. Якщо $G_p < G_{кр}$, то гіпотеза про однорідність дисперсій приймається, в іншому випадку – відкидається, і тоді експеримент необхідно повторити, змінивши умови його проведення (набір факторів, інтервал їх варіювання, точність вимірювальних приладів тощо).

Розрахунок оцінок коефіцієнтів рівняння регресії проводиться за методом найменших квадратів – мінімізується сума квадратів відхилень між експериментальними значеннями досліджуваного параметра й значеннями, обчисленими для тих самих точок факторного простору за рівнянням регресії. Завдяки попередній стандартизації масштабу факторів і ортогональності МП, розрахунок оцінок коефіцієнтів регресії в ПФЕ перетворюється на просту арифметичну процедуру:

$$\begin{cases} b_i = \dfrac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} x_i y_i; \\ b_k = \dfrac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} x_i x_k \overline{y}_j; \\ b_0 = \dfrac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} x_0 \overline{y}_j. \end{cases} \tag{7.89}$$

Гіпотезу про статистичну значущість (відмінність від нуля) коефіцієнтів регресії перевіряють за критерієм Стьюдента. Розрахункове значення t_p цього критерію визначають як частку від ділення модуля коефіцієнта b_i на оцінку його середньоквадратичного відхилення S_b:

$$t = \frac{|b_i|}{S_b}. \tag{7.90}$$

У ПФЕ, завдяки однаковій віддаленості всіх експериментальних точок факторного простору від центра експерименту, оцінки всіх коефіцієнтів рівняння регресії незалежно від їх величини обчислюються з однаковою похибкою (за виконання умови відтворюваності дослідів):

$$S_b = \frac{S_y}{N}, \tag{7.91}$$

де $S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^{N} S_{yj}}{N}$ – оцінка дисперсії відтворюваності експерименту.

Критичне значення критерію $t_{кр}$ знаходять з таблиці розподілу Стьюдента за числом ступенів свободи $f = N(K–1)$ і рівнем значущості q. Якщо $t_p > t_{кр}$, гіпотеза про значущість коефіцієнта b_i приймається; у іншому випадку коефіцієнт вважається незначущим і прирівнюється до нуля.

Для перевірки гіпотези про адекватність ММ необхідно порівняти дві дисперсії:

а) дисперсія неадекватності, що залежить від різниці між значеннями y_{ip}, розрахованими за ММ, та експериментальними результатами y_{it}:

$$S_a^2 = \frac{1}{K(N-L)} \sum_{j=1}^{N} \sum_{t=1}^{K} \left(y_{jp} - \overline{y}_j \right)^2, \tag{7.92}$$

де L – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії, не враховуючи b_0;

б) дисперсія неоднорідності, яка характеризує похибки спостережень:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{N} S_{yj}^2 . \tag{7.93}$$

Адекватність ММ перевіряється за F-критерієм Фішера:

$$F_p = \frac{S_a^2}{S_y^2}, \tag{7.94}$$

причому $S_a^2 > S_y^2$.

Критичне значення $F_{кр}$ визначають із таблиці розподілу Фішера за числом ступенів вільності чисельника $f = K(N–L)$, знаменника $f = N(K–1)$ і рівнем значущості q. Якщо $F_p > F_{кр}$ – гіпотеза про адекватність відхиляється.

Як правило, спочатку перевіряють адекватність лінійної ММ. Якщо припущення про адекватність підтверджується, то як остаточну ММ вибирають лінійну; якщо відхиляється – додають ефект взаємодії з найбільшим коефіцієнтом і знову перевіряють гіпотезу, і так доти, поки існують ступені свободи.

Якщо модель все ж виявилася неадекватною, це говорить про те, що тип математичної моделі вибрано невдало, і за такого рівня шуму і класу точності вимірювальних приладів ММ має бути уточнена.

7.4.2 Дробовий факторний експеримент

Кількість дослідів ПФЕ $2n$ швидко зростає зі збільшенням кількості факторів n, і за досягнення великих значень цей вид експерименту виявляється практично неприйнятним. Для зменшення кількості дослідів з великої кількості точок факторного простору може бути відібрана їхня деяка частина, що містить відповідну кількість дослідів і являє собою дробовий факторний план.

Дробовий факторний експеримент (ДФЕ), як і ПФЕ, дозволяє досліджувати поліноміальні ММ виду (7.84). Кількість оцінюваних параметрів ММ і кількість проведених в експерименті дослідів пов'язані із поняттям насиченості експерименту. Якщо кількість проведених дослідів перевищує кількість оцінюваних параметрів, експеримент називається ненасиченим, якщо дорівнює – насиченим, а якщо більша – наднасиченим.

Дробовим факторним експериментом називається система дослідів, що являє собою частину ПФЕ, яка дозволяє розрахувати коефіцієнти рівняння регресії та скоротити обсяг експериментальних даних.

Наприклад, для ДФЕ типу 2^{3-1} число дослідів дорівнює чотирьом дослідам порівняно із 16 дослідами у випадку ПФЕ (табл. 7.3). За трьох основних факторів ДФЕ містить 8 дослідів, а генераторами для дробових планів можуть використовуватись добутки $x_1 \cdot x_2$, $x_1 \cdot x_3$, $x_2 \cdot x_3$, $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$.

Таблиця 7.3 – Матриця планування ДФЕ типу 2^{3-1}

N	x_1	x_2	$x_3 = x_1 x_2$
1	–	–	+
2	+	–	–
3	–	+	–
4	+	+	+

У разі введення одного додаткового фактора (ДФЕ типу 2^{4-1}) може використовуватися будь-який з чотирьох можливих генераторів:

$$\begin{cases} x_4 = x_1 x_2; \\ x_4 = x_1 x_3; \\ x_4 = x_2 x_3; \\ x_4 = x_1 x_2 x_3. \end{cases} \qquad (7.95)$$

Як генератори плану використовуються незначні взаємодії. Для знаходження математичного опису процесу використовуються певні частини ПФЕ: 1/2, 1/4, 1/8 і т. д. Ця система дослідів називається дробовими репліками, а сам метод ДФЕ – методом дробових реплік.

Матрицю ДФЕ для трьох факторів наведено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Матриця планування ДФЕ типу 2^{3-1}

N	x_0	x_1	x_2	$x_3 = x_1 x_2$
1	+	–	–	+
2	+	+	–	–
3	+	–	+	–
4	+	+	+	+

За відповідним планом (табл. 7.4) можуть визначатися коефіцієнти регресії b_0, b_1, b_2, b_3. Проте, коефіцієнти регресії b_1, b_2, b_3 будуть змішані з парними взаємодіями.

За значної кількості факторів і дослідів визначення змішаності за МП є трудомістким. Для знаходження того, за яких факторів і взаємодій оцінки коефіцієнтів будуть змішаними, використовують контраст плана, який отримують множенням обох частин генератора плану введеного додаткового фактора x_j на цей фактор. Наприклад, оскільки для ДФЕ (див. табл. 7.3) генератор плану $x_3 = x_1x_2$, тоді для контрасту буде отримано $x_3^2 = x_1x_2x_3$, оскільки $x_i^2 = 1$, остаточно $1 = x_1x_2x_3$. Щоб визначити, з якими факторами і взаємодіями змішана оцінка фактора x_i, необхідно визначити добуток обох частин контрасту на цей фактор. Наприклад, для x_1: $x_1 = x_1^2x_2x_3 = x_2x_3$, тобто b_1 оцінює одночасно β_1 і b_{23}: $b_1 \rightarrow \beta_1 + b_{23}$.

Для x_2: $x_2 = x_1x_2x_3x_2 = x_1x_3$, тоді $b_2 \rightarrow \beta_2 + b_{13}$; для x_3: $x_3 = x_1x_2x_3x_3 = x_1x_2$, тоді $b_3 \rightarrow \beta_3 + b_{13}$, де β_i – дійсні значення коефіцієнтів b_i.

Залежно від кількості факторів, що входять до контрасту, використовується поняття роздільної здатності ДФЕ. Зокрема, якщо для ДФЕ типу 2^{4-1} як генератор плану вибрано $x_4=x_1x_2x_3$ (відповідне значення контрасту $1=x_1x_2x_3x_4$), тоді у такого експерименту роздільна здатність дорівнює 4; якщо генератор $x_1x_2=x_4$ і значення контрасту $1=x_1x_2x_4$, то значення роздільної здатності дорівнює 3; генератори плану із найбільшою роздільною здатністю називаються головними і їм надається відповідна перевага.

Якщо вводиться не один, а кілька додаткових факторів, тоді буде отримано декілька генераторів плану (для кожного додаткового фактора власний). У цьому випадку для визначення змішаності оцінок використовується узагальнювальний контраст, який будується з окремих контрастів, а також їхніх добутків у всіх можливих поєднаннях. Наприклад, для ДФЕ 2^{5-2} як генератори вибираються співвідношення $x_4 = x_1x_2$ і $x_5 = x_1x_2x_3$, зна-

чення контрастів відповідно: $1 = x_1x_2x_4$ і $1 = x_1x_2x_3x_5$, а узагальнювальний контраст:

$$1 = x_1x_2x_4 = x_1x_2x_3x_5 = x_3x_4x_5. \quad (7.96)$$

Для визначення змішаності необхідно перемножити усі складові узагальнювального контрасту на відповідні фактори:

для x_1: $x_1 = x_2x_4 = x_2x_3x_5 = x_1x_3x_4x_5$;

для x_4: $x_4 = x_1x_2 = x_1x_2x_3x_4 = x_3x_5$.

Тоді для визначення змішаності оцінок:

$$b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{24} + \beta_{234} + \beta_{1345};$$

$$b_4 \rightarrow \beta_4 + \beta_{12} + \beta_{1234} + \beta_{35}.$$

Наслідком зменшення кількості дослідів порівняно з ПФЕ є й зменшення точності оцінок, викликане їх змішаністю.

За ДФЕ стандартизація масштабів факторів, порядок постановки дослідів, перевірка відтворюваності дослідів, розрахунок оцінок коефіцієнтів регресійного рівняння і перевірка їх статистичної значущості, а також перевірка адекватності отриманої ММ і перехід до фізичних змінних проводиться аналогічно, як і за ПФЕ. Проте, необхідно враховувати, що для насичених і наднасичених експериментів неможлива перевірка адекватності ММ, оскільки для неї відсутні ступені вільності.

Висновки щодо застосування математичного моделювання та обробки даних

Розділ присвячений системному викладенню теоретичних та практичних основ математичного моделювання як універсального інструменту наукового пізнання й аналізу складних процесів різної природи. Висвітлено суть моделі як відображення реального об’єкта, що зберігає його суттєві властивості, та охарактеризовано основні типи моделювання – ідеальне, матеріальне, знакове, когнітивне й концептуальне. Зазначено, що математичне моделювання є ключовою формою наукового пізнання, яка забезпечує формалізований опис об’єктів за допомогою математичних співвідношень і дозволяє досліджувати їх поведінку шляхом чисельного експерименту. Показано класифікацію математичних моделей за природою об’єкта, видом оператора, структурою параметрів та ступенем визначеності. Детально розглянуто етапи побудови математичної моделі – від аналізу об’єкта та постановки задачі до перевірки адекватності й практичної реалізації. Особливу увагу приділено критеріям якості моделей – точності, адекватності, достовірності, складності та універсальності. Обґрунтовано необхідність використання обчислювальних методів як практич-

ного інструменту реалізації математичних моделей. Висвітлено основні напрями їх застосування: розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь, задач нелінійної математики, диференціального числення та рівнянь математичної фізики. Проаналізовано особливості ітераційних чисельних методів (зокрема, методу Гаусса-Зейделя), методів уточнення коренів нелінійних рівнянь, методів Рунге-Кутта для диференціальних рівнянь, а також чисельних схем розв'язання еліптичних, параболічних і гіперболічних рівнянь. Підкреслено, що обчислювальні методи є невід'ємною складовою сучасного математичного моделювання, оскільки дозволяють отримувати наближені, але достатньо точні результати для аналізу, оптимізації та прогнозування поведінки складних систем. Вони забезпечують зв'язок між математичними моделями та їх практичним застосуванням у наукових дослідженнях, техніці, інженерії та інтелектуальних інформаційних технологіях. Ідентифікація об'єкта моделювання є процесом встановлення однозначної відповідності між реальним об'єктом і його математичною моделлю. Вона може здійснюватися аналітичними методами – шляхом теоретичного аналізу принципів функціонування системи або експериментальними – через обробку емпіричних даних. Залежно від умов проведення експерименту розрізняють пасивну й активну ідентифікацію, які відрізняються способом збудження системи та характером отримуваних даних. Пасивна ідентифікація ґрунтується на спостереженні природного процесу, тоді як активна передбачає вплив на систему спеціально сформованими тестовими сигналами. Систематизовано статистичні методи ідентифікації, зокрема оцінювання законів розподілу випадкових величин, кореляційний, факторний, регресійний й спектральний аналізи. Зазначено, що кореляційний аналіз дозволяє виявляти лінійні статистичні зв'язки між параметрами, факторний – визначати головні фактори впливу, регресійний – будувати аналітичні залежності між змінними, а спектральний – аналізувати частотні характеристики стохастичних процесів. Комплексне застосування цих методів забезпечує точне визначення параметрів моделей і підвищує їхню адекватність. Також розглянуто методи планування експерименту, які забезпечують оптимальний вибір умов проведення дослідів для побудови моделей із заданою точністю. Висвітлено принципи повного та дробового факторного експериментів, їх геометричну інтерпретацію, структуру матриць планування, а також методи перевірки достовірності результатів за критеріями Стьюдента, Кохрена та Фішера. Підкреслено, що оптимальні плани експерименту мають відповідати умовам симетричності, нормування та ортогональності, що гарантує стабільність і точність оцінок параметрів моделей. Таким чином, математичне моделювання у поєднанні з обчислювальними, експериментальними та статистичними методами становить фундамент сучасних підходів до наукового пізнання, формуючи цілісну методологічну основу побудови математичних моделей реальних об'єктів і процесів. Сукупність цих

методів забезпечує інтеграцію теоретичного аналізу, чисельних обчислень та експериментальної перевірки, що уможливлює створення адекватних, оптимальних і стійких моделей складних технічних і природних систем, які є основою подальшого розвитку комп'ютерних та штучно-інтелектуальних технологій.

Контрольні запитання та завдання

1. У чому полягає суть процесу моделювання як наукового методу пізнання?
2. Які основні види моделювання виділяють у сучасній науковій практиці та чим вони відрізняються?
3. Дайте означення поняття математичної моделі і наведіть приклади її застосування.
4. Які основні етапи містить процес побудови математичної моделі технічної системи?
5. Які типи параметрів виділяють у математичному моделюванні та як вони класифікуються?
6. У чому полягає відмінність між детермінованими, стохастичними, інтервальними та нечіткими моделями?
7. Які основні критерії якості математичної моделі?
8. Яким чином здійснюється перевірка адекватності математичної моделі?
9. У чому полягає суть ітераційного методу Гаусса–Зейделя в процесі розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь?
10. Які основні етапи реалізації чисельного методу для розв'язання нелінійних рівнянь?
11. Як класифікуються диференціальні рівняння за порядком і типом, та яке їх практичне значення у математичному моделюванні?
12. У чому полягає принцип роботи методу Рунге–Кутта та які його переваги в обчислювальних процесах?
13. Які типи рівнянь математичної фізики (еліптичні, гіперболічні, параболічні) виділяють і які фізичні процеси вони описують?
14. Яке значення має системний підхід у процесі побудови, аналізу та реалізації математичних моделей у сучасних інтелектуальних обчислювальних системах?
15. Розкрийте суть процесу ідентифікації об'єктів моделювання та поясніть, у чому полягає взаємозв'язок між задачами використання моделі та її ідентифікації.

16. Порівняйте пасивний та активний експерименти в контексті ідентифікації функціональної моделі. Укажіть їхні переваги, недоліки та сфери застосування.

17. Охарактеризуйте роль статистичних методів у процесі ідентифікації об’єктів моделювання. Які типи статистичних аналізів використовуються на цьому етапі?

18. Поясніть принципи побудови ПФЕ та наведіть його основні властивості як оптимальної матриці планування.

19. Визначте критерії перевірки адекватності математичної моделі у процесі планування експерименту та вкажіть, за допомогою яких статистичних показників здійснюється така перевірка.

20. Опишіть особливості ДФЕ та проаналізуйте, як вибір генераторів плану впливає на роздільну здатність і точність отриманої моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3008:2015. «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання». Чинний від 22.06.2015 р. Вид. офіц. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2016. 26 с.
2. Квєтний Р. Н., Сторчак В. Г., Барабан М. В. Методичні вказівки щодо застосування програмних комплексів та інтелектуальних засобів при вивченні дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень» для студентів спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки», 126 «Інформаційні системи та технології», 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Вінниця : ВНТУ, 2024. 68 с. URL: https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/9391.pdf.
3. Методи та алгоритми комп'ютерних обчислень. Теорія і практика: підручник / Р. Н. Квєтний та ін. Вінниця : ВНТУ, 2023. 280 с. URL: https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/767.
4. Бурау Н. І., Антонюк В. С., Півторак Д. О. Методологія наукових досліджень у галузі: практикум : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 58 с.
   URL: https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/6036b14b-7efe-429b-968b-99fec19092d4/content.
5. Моделювання та оптимізація систем : підручник / В. М. Дубовой та ін. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс», 2017. – 804 с.
   URL:
   https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/19937/Modeluvannia_ta_optymizatsiia_system.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
6. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Мокін В. Б. Методологія та організація наукових досліджень : навчальний посібник. 3-е вид., змін. та доп. Вінниця : ВНТУ, 2023. 217 с. URL:
   https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/805.
7. Мокін В. Б., Дратований М. В. Наука про дані: машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних : електронний навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2024. 263 с.
   URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Mokin_2024_263.pdf.
8. Kvyetnyy R., Ivanchuk Y. Computational Methods and Algorithms. Vinnytsia : VNTU, 2024. 281 p.
   URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Kvyetnyy_2024_281.pdf.

Електронне навчальне видання

Роман Наумович Квєтний
Ярослав Володимирович Іванчук
Марія Володимирівна Барабан
Володимир Григорович Сторчак

Методологія наукових досліджень

Підручник

Рукопис оформила *М. Барабан*

Редактор. *Т. Старічек*

Оригінал виготовлено в РВВ ВНТУ

Підписано до видання 21.05.2026 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам. № Р2026-045.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
press.vntu.edu.ua;
Email: rvv.vntu@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.