

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ТЕОРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методичні вказівки
з виконання самостійної роботи

для студентів 1 курсу
спеціальності G3 «Електрична інженерія»,
денної та заочної форми навчання,
освітнього ступеня «магістр»

СУМИ – 2026

УДК 620.93

Н11

Укладачі: **Барсукова Г.В.**, к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Юрченко О.Ю., Р.н.Д., доцент, в.о. завідувача кафедри енергетики та електротехнічних систем
Лисенко В.В., завідувач навчально-методичного кабінету кафедри енергетики та електротехнічних систем

**М 11 Науково-методичне забезпечення навчального процесу :
методичні вказівки / укл.: Г.В. Барсукова, О.Ю. Юрченко,
В.В. Лисенко. - Суми, 2026. – 36 с.**

У методичних вказівках приведені теми для самостійного вивчення здобувачами вищої освіти. Зокрема, акцентується увага на теоретичних аспектах, важливих для студентів магістратури спеціальності «Електрична інженерія». Вказівки супроводжуються прикладами та рекомендаціями, що сприяють глибшому розумінню матеріалу та розвитку необхідних дослідницьких навичок. Методичні вказівки стануть корисним інструментом для самостійного навчання та підготовки до лекційних та практичних занять....

Рецензенти:

Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент кафедри «Технічного сервісу та галузевого машинобудування» СНАУ;

Івченко О.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри «Проектування технічних систем» СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Юрченко О.Ю., Р.н.Д., доцент, в.о. завідувача кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету.

Протокол № 4 від «22» січня 2026 року

© Сумський національний
аграрний університет, 2026

ЗМІСТ

№	Теми	Сторінки
1	Державна науково-технічна політика України. Організація наукової діяльності	5
2	Поняття моделі: фізична, математична	9
3	Експеримент: терміни і визначення, планування експерименту, параметри оптимізації	17
4	Повний факторний експеримент. Дробовий факторний експеримент	20
5	Методи обчислення експериментів. Засоби і методи вирішення задач оптимізації	23
6	Розробка умов експерименту. Помилка експерименту	27
7	Оформлення результатів експерименту. Обробка результатів	30
8	Накопичення та обробка наукової і технічної інформації. Наукові кадри	33

Тема 1

«Державна науково-технічна політика України. Організація наукової діяльності»

1. Функції та місце науки в суспільстві.
2. МЕТОДИ КОНСТРУЮВАННЯ НАУКОВИХ ЗАКОНІВ.
3. ЗАГАЛЬНО НАУКОВА МЕТОДОЛОГІЯ

1. Функції та місце науки в суспільстві.

Вивчаючи ефективність теплових машин в курсі термодинаміки, ви зустрічалися з терміном "ентропія". Згідно другому початку термодинаміки ентропія замкнутої системи нарастає мимоволі. Наслідком цього є те, що перетворення енергії не може відбуватися без втрат і ККД будь-якого процесу або машини завжди нижче 100 відсотків. Більш загальне трактування поняття ентропії говорить про те, що це не просто міра знецінення енергії, а в більш загальному сенсі чинник, що відображає стирання відмінностей, руйнування структур, зростання хаосу в детермінованих системах. Академічна наука указує на жорсткий зв'язок *ентропії* і *інформації*, у ряді джерел інформацію називають *негентропія*. Трактуючи інформацію як протилежність ентропії, можна вказати на основну ознаку даної категорії - **наявність відмінностей** (біле і чорне, істинно і помилково, гаряче і холодно, плюс і мінус, одиниця і нуль).

Прояв відмінностей в часі трактується як інформаційний **сигнал**, прояв відмінностей в просторі можна трактувати як інформаційний **зміст** матеріальної структури, згідно основному закону діалектики, що інформація - уособлення протилежностей є джерелом розвитку матерії. Інформаційний зміст будь-якого об'єкту кількісно можна оцінити в бітах - довгої програми даний об'єкт, що описує. Не зупинятимемося на численних аспектах інформації, таких як семантичний, лінгвістичний, імовірнісний. Розглянемо тільки технічний, вживаний в дискретній і безперервній техніці. У дискретних системах інформація представлена у вигляді одиниць і нулів, а в аналогових системах - у вигляді відмінностей аналогових параметрів. Існують методи їх взаємного перетворення за допомогою ЦАП і АЦП. Згідно сучасним концепціям технічний термін інформація придбав дуже велике значення, (хто володіє інформацією, той володіє миром) і виріс до загальнофілософської категорії, такий як простір, час, матерія.

Картина миру і його розвитку в контексті інформаційних процесів виглядає таким чином: у замкнутих системах постійно йдуть процеси наростання ентропії і втрати інформації (знос машин, втрати енергії на тертя, втрати при перетворенні енергії, аварії, руйнування і так далі і тому подібне). Протистояти цим негативним явищам можна тільки методами інформаційних технологій:

- 1) Створюючи досконаліші машини (привнесло додаткового інформаційного змісту);
- 2) Захист об'єктів від дії ентропійних (руйнівних) чинників (різні системи автоматичного регулювання і управління).

Не можна не відзначити, що призначення автоматики як будь-якої іншої науки або професійної діяльності полягає або в забороні ентропійних тенденцій, або привнесло інформації. За великим рахунком будь-яка дія, що збільшує ентропію, - це **зло**, а будь-яка дія збільшуюча кількість інформації або стримує ентропію це - **благо**.

Сучасна концепція управління є циклічною і складається з наступних важливих моментів:

- 1) збір оперативної інформації про об'єкт і приведення її до стандартного вигляду;
- 2) обробка даної інформації з урахуванням мети управління і інформаційного змісту об'єкту управління для вироблення сигналу, що управляє (команди);
- 3) відповідно до сигналу, що управляє, дозування порції енергії для дії на об'єкт управління;
- 4) енергетична дія на об'єкт управління і після припинення перехідних процесів в нім цикл управління вважається за завершений і знову перехід до пункту 1.

Застосування даного алгоритму управління в технічних системах дозволяє добитися їх високої ефективності за рахунок малих енергетичних витрат. Це витікає з того, що

інформаційні сигнали мають тенденцію до постійного зниження їх енергетичному рівню, засоби обробки інформації стають економічнішими і мініатюрнішими.

2. МЕТОДИ КОНСТРУЮВАННЯ НАУКОВИХ ЗАКОНІВ.

Для дослідників — початківців дуже важливо мати уявлення про методологію та методи наукової творчості, оскільки саме на перших кроках до оволодіння навичками наукової роботи найбільше виникає питань саме методологічного характеру. Не можна ігнорувати факти тільки тому, що їх важко пояснити або знайти їм практичне використання. Зміст нового в науці не завжди бачить сам дослідник. Нові наукові факти і навіть відкриття, значення яких погано розкриті, можуть тривалий час лишатися в резерві науки і не використовуватися на практиці. При науковому дослідженні важливо все. Концентруючи увагу на основних або ключових питаннях теми, не можна не зважати на побічні факти, які на перший погляд здаються малозначущими. Проте саме такі факти можуть приховувати в собі початок важливих відкриттів.

Виклад наукових фактів має здійснюватися в контексті загального історичного процесу, історії розвитку певної галузі, бути багатоаспектним, з урахуванням як загальних, так і специфічних особливостей. Накопичення наукових фактів у процесі дослідження — це **творчий процес**, в основі якого завжди лежить задум ученого, його ідея. У філософському визначенні **ідея** — це продукт людського мислення, форма відображення дійсності. Ідея відрізняється від інших форм мислення тим, що в ній не тільки відображається об'єкт вивчення, а й міститься усвідомлення мети, перспективи пізнання і практичного перетворення дійсності. Тому важливе значення має історичне вивчення не лише об'єкта дослідження, а й становлення та розвитку знань про нього. Ідеї народжуються з практики, спостережень навколишнього світу і потреб життя. В основі ідей лежать реальні факти і події. Життя висуває конкретні завдання, однак часто не відразу знаходяться продуктивні ідеї для їх вирішення. У такому разі на допомогу приходить здатність дослідника проаналізувати ідеї, погляди попередників, запропонувати новий, зовсім незвичний аспект розгляду завдання, яке протягом тривалого часу не могли вирішити при загальному підході до справи.

Вивчення історичного досвіду, визначення етапів становлення, розвитку об'єкта дослідження та ідеї від часу виникнення до стадії вирішення завдання значно збагачує наукове дослідження, свідчить про достовірність його результатів і висновків, підтверджує наукову об'єктивність і компетентність дослідника. Нова ідея — не просто зміна уявлень про об'єкт дослідження — це якісний стрибок думки за межі сприйнятих почуттями даних і, здавалося б, перевірених рішень. Нові ідеї можуть виникати під впливом парадоксальних ситуацій, коли виявляється незначний, неочікуваний результат, який надто розходиться із загальноприйнятими положеннями науки — парадигмами. Отримання нових знань відбувається за схемою: парадигма → парадокс → нова парадигма

Розвиток науки — це зміна парадигм, методів, стереотипів мислення. Перехід від однієї парадигми до іншої не піддається логічному опису, бо кожна з них відкидає попередню і несе принципово новий результат дослідження, який не можна логічно вивести з відомих теорій. Особливу роль тут відіграють інтуїтивні механізми наукового пошуку, які не ґрунтуються на формальній логіці.

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Складність, багатогранність і міждисциплінарний статус будь-якої наукової проблеми приводять до необхідності її вивчення у системі координат, що задається різними рівнями методології науки. **Методологія** (гр. *methodos* — спосіб, метод і *logos* — наука, знання) — вчення про правила мислення при створенні теорії науки. Питання методології досить складне, оскільки саме це поняття тлумачиться по-різному. Багато зарубіжних наукових шкіл не розмежовують методологію і методи дослідження. У вітчизняній науковій традиції методологію розглядають як учення про науковий метод пізнання або як систему наукових принципів, на основі яких базується дослідження і здійснюється вибір сукупності пізнавальних засобів, методів, прийомів дослідження. Найчастіше методологію тлумачать як теорію методів дослідження, створення концепцій, як систему знань про теорію науки,

систему методів дослідження. Методику розуміють як сукупність прийомів дослідження, включаючи техніку і різноманітні операції з фактичним матеріалом. **Методологія виконує такі функції:**

Р визначає способи здобуття наукових знань, які відображають динамічні процеси та явища;

Р направляє, передбачає особливий шлях, на якому досягається певна науково-дослідницька мета;

Р забезпечує всебічність отримання інформації щодо процесу чи явища, що вивчається;

Р допомагає введенню нової інформації до фонду теорії науки;

Р забезпечує уточнення, збагачення, систематизацію термінів і понять у науці;

Р створює систему наукової інформації, яка базується на об'єктивних фактах, і логіко-аналітичний інструмент наукового пізнання.

Ці ознаки поняття "методологія", що визначають її функції в науці, дають змогу зробити такий висновок: методологія — це концептуальний виклад мети, змісту, методів дослідження, які забезпечують отримання максимально об'єктивної, точної, систематизованої інформації про процеси та явища. Методологічна основа дослідження, як правило, не є самостійним розділом дисертації або іншої наукової праці, однак від її чіткого визначення значною мірою залежить досягнення мети і завдань наукового дослідження. Крім того, в розділах основної частини дисертації подають виклад загальної методики і основних методів дослідження, а це потребує визначення методологічних основ кваліфікаційної роботи.

Методологія — вчення про систему наукових принципів, форм і способів дослідницької діяльності — має чотирирівневу структуру. Нині розрізняють фундаментальні, загальнонаукові принципи, що становлять власне методологію, конкретнонаукові принципи, що лежать в основі теорії тієї чи іншої дисципліни або наукової галузі, і систему конкретних методів і технік, що застосовуються для вирішення спеціальних дослідницьких завдань.

ФУНДАМЕНТАЛЬНА, АБО ФІЛОСОФСЬКА, МЕТОДОЛОГІЯ

Філософська, або фундаментальна, методологія є вищим рівнем методології науки, що визначає загальну стратегію принципів пізнання особливостей явищ, процесів, сфер діяльності. Розвиток методології — одна зі сторін розвитку пізнання в цілому. Спочатку методологія ґрунтувалася на знаннях, які диктувала геометрія як наука, де містилися нормативні вказівки для вивчення реального світу. Потім методологія виступала як комплекс правил для вивчення всесвіту і перейшла у сферу філософії. Платон і Арістотель розглядали методологію як логічну універсальну систему, засіб істинного пізнання.

Тривалий час проблеми методології не посідали належного місця в науці через механістичність або релігійність тих чи інших поглядів на світ. Зразком пізнання були принципи механіки, розроблені Г. Галілеєм і Ф. Декартом. Емпіризм протягом багатьох століть виступав вихідною позицією при розгляді всіх проблем. Ідеалісти І. Кант і Г.В.Ф. Гегель дали новий поштовх розвитку методології, спробували розглянути закономірності в самому мисленні: сходження від конкретного до абстрактного, суперечності розвитку буття і мислення та ін.

Усі досягнення минулого були опрацьовані у вигляді діалектичного методу пізнання реальної дійсності, в основу якого було покладено зв'язок теорії і практики, принципи пізнаності реального світу, детермінованості явищ, взаємодії зовнішнього і внутрішнього, об'єктивного і суб'єктивного. Діалектична логіка пізнання стала універсальним інструментом для всіх наук, при вивченні будь-яких проблем пізнання і практики. **Діалектика** як метод пізнання природи, суспільства і мислення, розглянута в єдності з логікою і теорією пізнання, є фундаментальним науковим принципом дослідження багатопланової і суперечної дійсності в усіх її проявах. Діалектичний підхід дає змогу обґрунтувати причинно — наслідкові зв'язки, процеси диференціації та інтеграції, постійну суперечність між сутністю і явищем, змістом і формою, об'єктивність в оцінюванні дійсності. Досвід і факти є джерелом, основою пізнання дійсності, а практика — критерієм істинності теорії.

Філософська методологія виконує два типи функцій. По-перше, вона виявляє смисл наукової діяльності та її взаємозв'язки з іншими сферами діяльності, тобто розглядає науку

стосовно практики, суспільства, культури людини. Це — філософська проблематика. Методологія не є особливим розділом філософії: методологічні функції щодо спеціальних наук виконує філософія в цілому. По-друге, методологія вирішує завдання вдосконалення, оптимізації наукової діяльності, виходячи за межі філософії, хоча й спирається на розроблені нею світоглядні й загально методологічні орієнтири та постулати.

3. ЗАГАЛЬНО НАУКОВА МЕТОДОЛОГІЯ

Загально наукова методологія використовується в усіх або в переважній більшості наук, оскільки будь-яке наукове відкриття має не лише предметний, але й методологічний зміст, спричиняє критичний перегляд прийнятого досі понятійного апарату, чинників, передумов і підходів до інтерпретації матеріалу, що вивчається. До загально наукових принципів дослідження належать: історичний, термінологічний, функціональний, системний, когнітивний (пізнавальний), моделювання та ін.

Особливого значення набувають вивчення історичного досвіду, аналіз та оцінювання історичних подій, фактів, попередніх теорій у контексті їх виникнення, становлення та розвитку. Отже, історичний метод дає змогу дослідити виникнення, формування і розвиток процесів і подій у хронологічній послідовності з метою виявлення внутрішніх та зовнішніх зв'язків, закономірностей та суперечностей.

Будь-яке теоретичне дослідження потребує описування, аналізу та уточнення понятійного апарату конкретної галузі науки, тобто термінів і понять, що їх позначають. **Термінологічний принцип** передбачає вивчення історії термінів і позначуваних ними понять, розробку або уточнення змісту та обсягу понять, встановлення взаємозв'язку і субординації понять, їх місця в понятійному апараті теорії, на базі якої базується дослідження. Вирішити це завдання допомагає метод термінологічного аналізу і метод операціоналізації понять.

До загальнонаукової методології слід віднести системний підхід, застосування якого потребує кожний об'єкт наукового дослідження. Сутність його полягає у комплексному дослідженні великих і складних об'єктів (систем), дослідженні їх як єдиного цілого з узгодженим функціонуванням усіх елементів і частин. (Дивись додаток 1)

Кожну конкретну науку, діяльність, об'єкт можна розглядати як певну систему, що має множину взаємопов'язаних елементів, компонентів, підсистем, визначені функції, цілі, склад, структуру. До загальних характеристик системи відносять цілісність, структурність, взаємозв'язок із зовнішнім середовищем, ієрархічність, цілеспрямованість, самоорганізацію. З позицій системного підходу можна розглядати будь-яку сферу.

Метод моделювання (дивись додаток 2) має таку структуру:

- а) постановка завдання;
- б) створення або вибір моделі;
- в) дослідження моделі;
- г) переведення знань з моделі на оригінал.

Активно використовуються такі кількісно-якісні методи: наукометрія, бібліометрія, інформетрія.

Термінологічний словник.

Наука - це система знань що безупинно розвивається стосовно об'єктивних законів природи, суспільства й мислення, одержуваних і перетворюваних у безпосередню продуктивну силу суспільства в результаті спеціальної діяльності людей.

Ціль науки - пізнання законів розвитку природи й суспільства й вплив на природу на основі використання знань для одержання корисних суспільству результатів. Поки відповідні закони не відкриті, людина може лише описувати явища, збирати, систематизувати факти, але він нічого не може пояснити й пророчити.

Категорії - найбільш загальні поняття, що відображають особливості її предмета, змісту і методу.

Наукознавство - це вчення про загальні закономірності розвитку і функціонування науки як системи знань. Наукознавство у логічному, соціологічному, політичному, економічному,

психологічному та інших аспектах відображає те загальне і суттєве, що характерне для різних наук, їх взаємозв'язок, а також відносини між теорією науки, з одного боку, технікою, виробництвом і суспільством - з другого.

Поняття теорії (від грец. Theoria- спостереження, дослідження) - логічне узагальнення досвіду, суспільної практики, що відображають об'єктивні закономірності розвитку природи і суспільства, тобто система узагальнюючих у тій чи іншій галузі знань.

Ідея — це продукт людського мислення, форма відображення дійсності.

Методологія (гр. methodos — спосіб, метод і logos — наука, знання) — вчення про правила мислення при створенні теорії науки.

Діалектика як метод пізнання природи, суспільства і мислення, розглянута в єдності з логікою і теорією пізнання, є фундаментальним науковим принципом дослідження багатопланової і суперечної дійсності в усіх її проявах.

Термінологічний принцип передбачає вивчення історії термінів і позначуваних ними понять, розробку або уточнення змісту та обсягу понять, встановлення взаємозв'язку і субординації понять, їх місця в понятійному апараті теорії, на базі якої базується дослідження.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Поняття науки, її функцій та місце в суспільстві?
2. Історичні етапи розвитку науки як виду діяльності?
3. Термін "інформація", сучасні трактування і значення?
4. Терміни «ентропія» і «інформація» їх зв'язок ?

Тема 2

«Поняття моделі: фізична, математична»

1. Наукове пізнання і моделювання.
2. Метод описування системи.

1. Наукове пізнання і моделювання

а.

Математична модель описується (представляється) математичними структурами, математичним апаратом (числа, букви, геометричні образи, відносини, структури алгебри і так далі).

У математичних моделях є і дидактичні аспекти - розвиток модельного і математичного стилю мислення, що дозволяє вникати в структуру і внутрішню логіку модельованої системи.

Відзначимо основні операції (процедури) математичного моделювання.

1. Лінеаризація. Хай дана математична модель $M=m(X, Y, A)$, де X - безліч входів, Y - безліч виходів, A - безліч станів системи. Схематично можна це зобразити так: $X \rightarrow A \rightarrow Y$. Якщо X, Y, A - лінійні простори (множини), а $\alpha: X \rightarrow A$ і $\beta: A \rightarrow Y$ - лінійні оператори (тобто будь-які лінійні комбінації $\alpha x + \beta y$ аргументів x і y перетворюють у відповідні лінійні комбінації $\alpha(x) + \beta(y)$), то система (модель) називається лінійною. Всі інші системи (моделі) - нелінійні. Вони важче піддаються дослідженню, хоча і актуальніші. Нелінійні моделі менш вивчені, тому їх часто лінеаризують - зводять до лінійних моделей якимсь чином, якоюсь коректною лінеаризуючою процедурою.

Приклад. Застосуємо операцію лінеаризації до моделі (якої фізичної системи, явища?) $y=at^2/2, 0 \leq t \leq 4$, яка є нелінійною (квадратичною). Для цього замінимо один з множників t на його середнє значення для даного проміжку, тобто на $t=2$. Така (хай пробачать мене знайомі з лінеаризацією читачі, - хоч і дуже наочна, але дуже груба!) процедура лінеаризації дає вже лінійну модель виду $y=2at$. Точнішу лінеаризацію можна провести таким чином: замінимо множник t не на середнє, а на значення в деякій крапці (це крапка - невідома!); тоді, як випливає з теореми про середній з курсу вищої математики, така заміна буде достатньо точна, але при цьому необхідно оцінити значення невідомої крапки. На практиці використовуються достатньо точні і тонкі процедури лінеаризації.

2. Ідентифікація. Хай $M=m(X, Y, A)$, $A=\{a_i\}$, $a_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik})$ - вектор стану об'єкту (системи). Якщо вектор a_i залежить від деяких невідомих параметрів, то завдання ідентифікації (моделі, параметрів моделі) полягає у визначенні за деякими додатковими умовами, наприклад, експериментальним даним, що характеризують стан, системи в деяких випадках. Ідентифікація - завдання побудови за наслідками спостережень математичних моделей деякого типу, адекватно тих, що описують поведінку системи. Якщо $S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ - деяка послідовність повідомлень, що отримуються від джерела інформації про систему, $M=\{m_1, m_2, \dots, m_z\}$ - послідовність моделей, S , що описують, серед яких, можливо, міститься оптимальна (у якомусь сенсі) модель, то ідентифікація моделі M означає, що послідовність S дозволяє розрізнити (по даному критерію адекватності) дві різні моделі в M . Послідовність повідомлень (даних) S назвемо інформативною, якщо вона дозволяє розрізнити різні моделі в M . Цель ідентифікації - побудова надійної, адекватної, ефективно функціонуючої гнучкої моделі на основі мінімального об'єму інформативної послідовності повідомлень. Найбільш часто використовувані методи ідентифікації систем (параметрів систем): метод найменших квадратів, метод максимальної правдоподібності, метод байєсовських оцінок, метод марківських ланцюгових оцінок, метод евристик, експертне оцінювання та інші.

Приклад. Застосуємо операцію ідентифікації параметра a в моделі попереднього прикладу. Для цього необхідно задати додатково значення для деякого t , наприклад, $y=6$ при $t=3$. Тоді з моделі отримуємо: $6=9a/2$, $a=12/9=4/3$. Ідентифікований параметр a визначає наступну модель $y=2t^2/3$. Методи ідентифікації моделей можуть бути несумірно складніше, ніж приведений прийом.

3. Оцінка адекватності (точності) моделі.

Приклад. Оцінимо адекватність (точність) моделі $y=at^2/2, 0 \leq t \leq 4$, отриманій в результаті лінеаризації вище. Як міра (критерію) адекватності розглянемо звичну міру - абсолютне значення різниці між точним (якщо воно відоме) значенням і значенням, отриманим по моделі (чому береться по модулю?). Відхилення точної моделі від лінеаризованої буде в рамках цього критерію рівно $|at^2/2-2at|, 0 \leq t \leq 4$. Якщо $a>0$, то, як нескладно оцінити за допомогою похідної, ця погіршеність буде екстремальна при $t=2a$. Наприклад, якщо $a=1$, то ця величина не перевершує 2. Це достатньо велике відхилення, і можна укласти, що наша лінеаризована модель в даному випадку не є адекватною (як початковій системі, так і нелінеаризованої моделі).

4. Оцінка чутливості моделі (чутливості до змін вхідних параметрів).

Приклад. З попереднього прикладу виходить, що чутливість моделі $y=at^2/2, 0 \leq t \leq 4$ така, що зміна вхідного параметра t на 1% приводить до зміни вихідного параметра y на більш, ніж 2%, тобто ця модель є чутливою.

5. Обчислювальний експеримент по моделі. Це експеримент, здійснюваний за допомогою моделі на ЕОМ з метою визначення, прогнозу тих або інших станів системи, реакції на ті або інші вхідні сигнали. Приладом експерименту тут є комп'ютер (і модель!). Це процедура часто ототожнюється з комп'ютерним моделюванням.

Відзначимо основні причини, декілька гальмуючі вихід математичного моделювання на нові інформаційні технології:

- традиційний опис моделі системами математичних рівнянь, співвідношень; в той же час, більшість погано структурованих систем, що погано формалізуються, описуються за допомогою експертних даних, евристичних і імітаційних процедур, інтегрованих пакетів програм, графічних образів і т.д.;

- існуючі засоби опису і представлення моделей на ЕОМ не зважають на специфіку моделювання, немає єдиного представлення моделей, генерації нових моделей по банку моделей;

- недооцінка можливостей комп'ютера, який може робити більше, ніж проста реалізація алгоритму, як правило, що структурується і/або реалізовується добре, відсутність доступу до досвіду моделювання на ЕОМ.

У базовій п'ятірці: "система (досліджуване середовище) - модель (опис середовища) - алгоритм (програма) - комп'ютер (комп'ютерна технологія) - користувач (вироблення рішення)" при комп'ютерному моделюванні головну роль грають вже алгоритм (програма), комп'ютер і технологія, точніше, інструментальні системи для комп'ютера, комп'ютерні технології.

Приклад. При імітаційному моделюванні (за відсутності строгого і формально записаного алгоритму) головну роль грають технологія і засоби моделювання; аналогічна ситуація спостерігається в когнітивній графіці.

Модель не еквівалентна програмі, а моделювання не зводиться до програмування.

Специфічні операції математичного моделювання, наприклад, ідентифікація, лінеаризація не зводяться в ЕОМ до перетворення в ній програм. Розширюється і сфера застосування комп'ютера і комп'ютерних моделей.

Основні функції комп'ютера при моделюванні систем:

- виконання ролі допоміжного засобу для вирішення завдань, доступних і для звичайних обчислювальних засобів, алгоритмам, технологіям;

- виконання ролі засобу постановки і вирішення нових завдань, що не вирішуються традиційними засобами, алгоритмами, технологіями;

- виконання ролі засобу конструювання комп'ютерних повчальних і моделюючих середовищ типу: "навчаний - комп'ютер - повчальний", "повчальний - комп'ютер - навчаний", "повчальний - комп'ютер - група навчаних", "група навчаних - комп'ютер - повчальний", "комп'ютер - навчаний - комп'ютер";

- виконання ролі засобу моделювання для отримання нових знань;

- виконання ролі "навчання" нових моделей (самонавчання моделі).

Комп'ютерне моделювання - основа представлення знань в ЕОМ (побудови різних баз знань). Комп'ютерне моделювання для народження нової інформації використовує будь-яку інформацію, яку можна актуалізувати за допомогою ЕОМ. Прогрес моделювання пов'язаний з розробкою систем комп'ютерного моделювання, які підтримує весь життєвий цикл моделі, а прогрес в інформаційній технології - з актуалізацією досвіду моделювання на комп'ютері, із створенням банків моделей, методів і програмних систем, що дозволяють збирати нові моделі з моделей банку. Автономні підмоделі моделі обмінюються інформацією один з одним через єдину інформаційну шину - банк моделей, через базу знань по комп'ютерному моделюванню. Особливість комп'ютерних систем моделювання - їх висока інтеграція і інтерактивність. Часто ці комп'ютерні середовища функціонують в режимі реального часу.

Обчислювальний експеримент - різновид комп'ютерного моделювання.

Можна говорити зараз і про спеціальні пакети прикладних програм, текстових, графічних і табличних процесорів, візуальних і когнітивних середовищах (особливо, що працюють в режимі реального часу), що дозволяють здійснювати комп'ютерне моделювання.

Комп'ютерне моделювання і обчислювальний експеримент стають новим інструментом, методом наукового пізнання, новою технологією із-за зростаючої необхідності переходу від дослідження лінійних математичних моделей систем (для яких досить добре відомі або розроблені методи дослідження, теорія) до дослідження складних і нелінійних математичних моделей систем (аналіз яких набагато складніший); грубо, але образно, кажучи: "наші знання про навколишній світ - лінійні і детерміновані, а процеси на навколишньому світі - нелінійні і стохастичні".

Інформація (абстракція), реалізуючись повідомленнями реального миру, упредметнюється в різних наочних процесах, а реалізація на комп'ютері викликає необхідність використання в комп'ютерах спеціальних формалізованих описів, представлень цих процесів.

Комп'ютерне моделювання, від постановки завдання до отримання результатів, проходить наступні етапи комп'ютерного моделювання.

1. Постановка завдання.
 1. Формулювання завдання.
 2. Визначення мети і пріоритетів моделювання.
 3. Збір інформації про систему, об'єкт моделювання.
 4. Опис даних (їх структури, діапазону, джерела і так далі).
2. Передмодельний аналіз.
 1. Аналіз існуючих аналогів і підсистем.
 2. Аналіз технічних засобів моделювання (ЕОМ, периферія).
 3. Аналіз програмного забезпечення (мови програмування, пакети прикладних програм, інструментальні середовища).
 4. Аналіз математичного забезпечення (моделі, методи, алгоритми).
3. Аналіз завдання (моделі).
 1. Розробка структур даних.
 2. Розробка вхідних і вихідних специфікацій, форм представлення даних.
 3. Проектування структури і складу моделі (підмоделей).
4. Дослідження моделі.
 1. Вибір методів дослідження підмоделей.
 2. Вибір, адаптація або розробка алгоритмів, їх псевдокодів.
 3. Збірка моделі в цілому з підмоделей.
 4. Ідентифікація моделі, якщо в цьому є необхідність.
 5. Формулювання використовуваних критеріїв адекватності, стійкості і чутливості моделі.
5. Програмування (проектування програми).
 1. Вибір методу тестування і тестів (контрольних прикладів).
 2. Кодування на мові програмування (написання команд).
 3. Коментування програми.
6. Тестування і відладка.
 1. Синтаксична відладка.

2. Семантична відладка (відладка логічної структури).
3. Тестові розрахунки, аналіз результатів тестування.
4. Оптимізація програми.
7. Оцінка моделювання.
 1. Оцінка засобів моделювання.
 2. Оцінка адекватності моделювання.
 3. Оцінка чутливості моделі.
 4. Оцінка стійкості моделі.
8. Документування.
 1. Опис завдання, цілей.
 2. Опис моделі, методу, алгоритму.
 3. Опис середовища реалізації.
 4. Опис можливостей і обмежень.
 5. Опис вхідних і вихідних форматів, специфікацій.
 6. Опис тестування.
 7. Створення інструкцій для користувача.
9. Супровід.
 1. Аналіз застосування, періодичності використання, кількості користувачів, типу використання (діалоговий, автономний і ін.), аналіз відмов під час використання моделі.
 2. Обслуговування моделі, алгоритму, програми і їх експлуатація.
 3. Розширення можливостей: включення нових функцій або зміна режимів моделювання, у тому числі і під модифіковане середовище.
 4. Знаходження, виправлення прихованих помилок в програмі, якщо такі знайдуться.

10. Використання моделі.

Приклад. Математичне і комп'ютерне моделювання докладне, поетапно, ми розглянемо на прикладі наступною простий моделі виробництва. Отже, візьмемо укрупнені етапи моделювання виробництва.

Етап 1. Змістовна постановка завдання

Сучасне виробництво характерне тим, що частина вироблюваної продукції (у вартісному виразі) повертається у вигляді інвестицій (тобто частини кінцевої продукції, використовуваної для створення основних фондів виробництва) у виробництво. При цьому час повернення, введення в оборот нових фондів може бути різним для різного роду виробництва. Необхідне промодельовати цю ситуацію і виявити динаміку зміни величини основних фондів виробництва (капіталу).

Складність і різноманіття, слабка структурованість і погана формалізуємість основних економічних механізмів, що визначають роботу підприємств, не дозволяють перетворити процедури ухвалення рішень в економічній системі в повністю ефективні математичні моделі і алгоритми прогнозування. Тому доцільне використання простих, але гнучких і надійних процедур ухвалення рішення.

Розглянемо одну таку просту модель соціально-економічного процесу.

Етап 2. Формулювання гіпотез, побудова, дослідження моделі

Динаміка зміни величини капіталу визначається в нашій моделі, в основному, простими процесами виробництва і описується так званими узагальненими коефіцієнтами амортизації (витрати фондів) і потоку інвестицій (частина кінцевого продукту, використовуваного в одиницю часу для створення основних фондів). Ці коефіцієнти - відносні величини (оцінюються за одиницю часу). Необхідно розробити і досліджувати модель динаміки основних фондів. Рахуємо при цьому допустимість певних гіпотез, що визначають систему виробництва.

Хай $x(t)$ - величина основних фондів (капіталу) у момент часу t , де $0 \leq t \leq N$. Через проміжок часу Δt вона буде рівна $x(t+\Delta t)$. Абсолютний приріст рівний $\Delta x = x(t+\Delta t) - x(t)$. Відносний приріст буде рівний $\Delta x = [x(t+\Delta t) - x(t)]/\Delta t$.

Приймемо наступні гіпотези:

1. соціально-економічні умови виробництва достатньо хороші і сприяють зростанню виробництва, а потік інвестицій задається у вигляді відомої функції $y(t)$;

2. коефіцієнт амортизації фондів вважається незмінним і рівним m , і при достатньо малому значенні Δt , зміна основних фондів прямо пропорційно поточній величині капіталу, тобто $dx=y(t) - mx(t)$.

Рахуючи $\Delta t \rightarrow 0$, а також враховуючи визначення похідної, отримаємо з попереднього співвідношення наступний математичний вираз закону зміни величини капіталу - математичну модель (диференціальне рівняння) динаміки капіталу:

$$x'(t) = y(t) - mx(t), \quad x(0) = x_0,$$

де $x(0)$ - початкове значення капіталу у момент часу $t=0$.

Ця проста модель не відображає важливого факту: соціально-економічні ресурси виробництва такі, що між виділенням інвестицій і їх введенням і використанням у випуску нової продукції проходить час (лаг). Враховуючи це, можна записати модель у вигляді

$$x'(t) = y(t-T) - mx(t), \quad x(0) = x_0$$

Цій безперервній, диференціальній, динамічній моделі можна поставити у відповідність просту дискретну модель:

$$x_{i+1} = x_i + y_j - mx_i, \quad x_0 = c, \quad i=0, 1, 2, \dots, n, \quad 0 < j < n$$

де n - граничне значення моменту часу при моделюванні.

Дискретна модель виходить з безперервної при $\Delta t=1$, при заміні похідною $x'(t)$ на відносний приріст (з визначення похідної, це справедливо при малих значеннях Δt).

Етап 3. Побудова алгоритму і програми моделювання

Візьмемо для простоти режим моделювання, коли m, z - відомі і постійні, y - збільшується на кожен наступний момент часу на 1%, а також розглянемо найбільш простий алгоритм моделювання в укрупнених кроках.

1. Введення вхідних даних для моделювання: $c=x(0)$ - початковий капітал; n - кінцевий час моделювання; m - коефіцієнт амортизації; s - одиниця вимірювання часу; y - інвестиції.

2. Обчислення x_i від $i=1$ до $i=n$ по рекурентній формулі, приведеній вище.

3. Пошук стаціонарного стану - такого моменту часу j , $0 < j < n$, починаючи з якого все $x_j, x_{j+1}, \dots, x_n$ постійні або змінюються на малу допустиму величину $\epsilon > 0$.

4. Видача результатів моделювання і, за бажанням користувача, графіка.

Алгоритм, записаний на учбовій алгоритмічній мові, має вигляд

алг Виробництво (арг вещ m, z, n , рез вещ таб $x[1:366]$, літ p, q);

дано | виробництво з основними фондами, що змінюються згідно із законом:

$$| x[i+1] = x[i] + y - mx[i], \quad x[0] = c, \quad i=0, 1, 2, \dots, n, \quad 0 < j < n$$

$$| t = i * h, \quad h = 1 \text{ - крок за часом (день)}$$

$$| i \text{ - теперішній момент часу}$$

$$| m \text{ - коефіцієнт амортизації}$$

$$| x[0] = c \text{ - задана початкова величина капіталу}$$

$$| y \text{ - збільшується на 1\% кожного разу величина інвестицій}$$

треба | промодельовати динаміку основних фондів, тобто з'ясувати:

$$| 1) \text{ чому вони дорівнюють на момент часу } n;$$

$$| 2) \text{ чи наступає загибель підприємства, тобто чи звертається капітал (основні фонди) у нуль при деякому } t, \text{ і знайти це } t;$$

$$| 3) \text{ чи наступає ситуація, коли капітал стабілізується}$$

нач | початок тіла алгоритму

$$| \text{ опис типів змінних}$$

$$\text{цілий } i \mid i \text{ - змінна циклу прогнозу (поточний час)}$$

$$j \mid j \text{ - величина лага, що задається}$$

$$\text{до } | \text{ до - момент загибелі підприємства (якщо є)}$$

$$y \mid y \text{ - величина інвестицій, що збільшується згідно із законом } y = 1.01 * y$$

$$\text{введення } (m, n, z, y) \mid \text{ введення початкових даних}$$

$$p := \text{'предприятие не гине'} \mid \text{ задаємо початкове значення } s$$

```

q:='капітал не стаціонарний' | задаємо початкове значення q
x[0]:=c | початкове значення капіталу (не нульове)
i:=0 | задаємо початковий момент часу моделювання
нц поки (i<=n) і (x[i]>0) | заголовок циклу прогнозу капіталу
    | тіло циклу прогнозу капіталу
    x[i+1]=x[i]+y-mx[i] | обчислення прибули в наступний момент
    y:=1.01*y | і збільшуємо на 1% - для наступного моменту
    якщо x[i+1]<=0 | перевірка загибелі
        то | якщо гине, - виконується блок загиблого підприємства
        р:="предприятие гине" | замінюємо значення s
        k:=i-1 | і фіксуємо час загибелі
        нц для j від до до n | циклу обчислення всіх
            x[j]=0 | останніх, нульових значень прибули
        кц | кінець блок обробки загиблого підприємства
        якщо x[i+1]=x[i] | перевірка стаціонарності прибули
            то q:="капітал стаціонарний" | замінюємо старе значення q
    кц
кон.

```

Етап 4. Проведення обчислювальних експериментів

Експеримент 1. Потік інвестицій - постійний і в кожен момент часу рівний 10000. У початковий момент капітал - 1000000 крб. Коефіцієнт амортизації - 0,0025. Знайти величину основних фондів через 20 діб, якщо лаг рівний 5 діб.

Експеримент 2. Основні фонди у момент часу $t=0$ була рівні 5000. Через який час загальна їх сума перевищить 120000 крб., якщо потік інвестицій постійний і рівний 200, а $m=0,02$, $T=3$?

Експеримент 3. Яку стратегію інвестицій краще використовувати, якщо величина інвестицій постійна, в початковий момент капітал дорівнює 100000, величина амортизації постійна?

Етап 5. Модифікація (розвиток) моделі

Модифікація 1. Коефіцієнт амортизації можна узяти у формі $m=g-sx(t)$, де g - коефіцієнт оновлення фондів, s - коефіцієнт застарівання фондів, причому $0 < g, s < 1$. При цьому модель прийме вигляд

$$xg(t)=y(t-T)-rx(t)+sx^2(t), \quad x(0)=x_0$$

Цій безперервній, диференціальній, динамічній моделі можна поставити у відповідність просту дискретну модель:

$$x_{i+1}=x_i+y_i-gx_i+sx_i^2$$

$$x_0=c, \quad i=0, 1, 2, \dots, n, \quad 0 < j < n$$

де n - граничне значення моменту часу при моделюванні. Поставити цілі і досліджувати безперервну і дискретну моделі.

Модифікація 2. Одна з моделей математичної економіки задається рівнянням: $dz/dt=((1-c)*z(t)+k(t-w)+a)$ 1, де $z(t)$ - функція, яка характеризує випуск продукції, c - коефіцієнт капіталовкладень, a - незалежні витрати виробництва, l - швидкість реакції випуску на капіталовкладення, z - постійна попиту, w - запізнювання (лаг). Поставити цілі і досліджувати безперервну і дискретну моделі.

Модифікація 3. Для моделі динаміки фондів із змінним законом потоку інвестицій: а) побудувати гіпотези, модель і алгоритм для моделювання; б) сформулювати плани обчислювальних експериментів по цій моделі; у) реалізувати алгоритм і плани експериментів на ЕОМ.

Математичне моделювання тільки останнім часом стає на технологічну основу, у зв'язку з цим необхідно відзначити особливу роль зазвичай технологічного імітаційного моделювання, яке дозволяє нам програвати реальні ситуації, що відбуваються в системах, на їх моделях. Комп'ютерне моделювання (отримання, накопичення, переробка, зберігання,

використання, актуалізація знань за допомогою ЕОМ), на відміну від математичного, використовується порівняно недавно, хоча ці технології моделювання тісно зв'язані. Комп'ютерне моделювання, як правило, застосовується тоді, коли не вдається побудувати математичної аналітичної моделі або ж така модель надто складна для дослідження.

Приклад. Комп'ютерною (фізичною) моделлю може служити проста модель броунівського руху, що отримується генерацією комп'ютером нового випадкового положення крапки на екрані і траєкторії її руху; при цьому відзначимо, що сам "датчик випадкових чисел комп'ютера (або мови)" - це комп'ютерна модель, відповідна математичній моделі розподілу випадкової величини (зазвичай нормального розподілу) або так званої функції розподілу. Це розподіл - псевдовипадкове, отримване по цілком детермінованому алгоритму.

2. Метод описування системи.

Моделювання - один з найважливіших методів наукових досліджень.

Моделювання це дослідження об'єкта через вивчення його заміника, що називається МОДЕЛЛЮ.

Як виникло сучасне моделювання? При будівлі кораблів звернули увагу, що один з них швидкохідні, інші тихохідні, одні стійкі інші немає. Точних формул для розрахунку всього корабля не було. Спробували робити відразу модель, перевіряти її а потім будувати великий корабель. Першим кроком була побудова точної копії корабля, зменшеної в n разів, але при збільшенні до дійсних розмірів морехідні якості не завжди збереглися.

Тобто: результати моделювання були справедливі тільки для моделей, а для перенесення їх на реальний об'єкт необхідно було ще враховувати і режим руху турбулентний чи ламінарний.

НАВІЩО ПОТРІБНО МОДЕЛЮВАННЯ?

1. Для усунення помилок при проектуванні
2. Зменшення витрат на промислове виробництво
3. Скорочення термінів
4. Вивчення функціонування досліджуваних об'єктів

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Вимоги адекватності, змістовності, простоти моделі?
2. Наукове пізнання і моделювання?
3. Модель як метод описування системи?

Тема 3

«Експеримент: терміни і визначення, планування експерименту, параметри оптимізації»

Експеримент є фундаментальним елементом наукових досліджень та інженерної практики. Він дозволяє нам перевіряти гіпотези, виявляти причинно-наслідкові зв'язки, кількісно оцінювати вплив різних факторів та оптимізувати процеси.

1. Терміни та визначення

- **Експеримент** — це цілеспрямоване втручання дослідника в перебіг природних або штучних процесів з метою вивчення їхніх властивостей, перевірки гіпотез та встановлення закономірностей.
 - **Гіпотеза** — це науково обґрунтоване припущення, що тимчасово приймається для пояснення певних явищ або взаємозв'язків, яке потребує експериментальної перевірки.
 - **Змінна** — це будь-яка величина або характеристика, що може змінюватися в ході експерименту. Розрізняють:
 - **Незалежна змінна (фактор)** — змінна, яку дослідник свідомо змінює або контролює для вивчення її впливу на залежну змінну.
 - **Залежна змінна (змінна відгуку)** — змінна, яка вимірюється і спостерігається дослідником, і зміни якої, як очікується, є результатом зміни незалежної змінної.
 - **Контрольована змінна** — змінна, яку дослідник підтримує постійною протягом експерименту, щоб уникнути її впливу на залежну змінну.
 - **Нерегульована (змішувальна) змінна** — змінна, яка може впливати на результат експерименту, але не контролюється дослідником. Її вплив прагнуть мінімізувати.
- ☐ **Експериментальна установка** — сукупність приладів, обладнання, матеріалів та інших засобів, необхідних для проведення експерименту.
- ☐ **Спостереження** — це збір інформації про перебіг експерименту та його результати за допомогою органів чуття або вимірювальних приладів.
- ☐ **Вимірювання** — це процес визначення кількісних значень фізичних величин за допомогою вимірювальних засобів.
- ☐ **Експериментальні дані** — це сукупність числових значень, отриманих в результаті вимірювань та спостережень під час експерименту.

2. Планування експерименту

Якісне планування є ключовим для успішного експерименту. Воно дозволяє мінімізувати помилки, оптимізувати ресурси та отримати максимально достовірні результати.

Етапи планування:

1. **Визначення мети експерименту:** Чітке формулювання того, що саме потрібно з'ясувати або перевірити.
 - *Приклад:* Визначити, як температура та концентрація каталізатора впливають на швидкість хімічної реакції.
- ☐ **Формулювання гіпотез:** Розробка припущень, які будуть перевірятися.
 - *Приклад:* Збільшення температури призведе до збільшення швидкості реакції. Збільшення концентрації каталізатора призведе до збільшення швидкості реакції.
- ☐ **Ідентифікація та вибір незалежних змінних (факторів):** Визначення факторів, які будуть варіюватися, та їхніх рівнів.
 - *Приклад:* Температура (20°C, 40°C, 60°C), Концентрація каталізатора (0.1 М, 0.2 М, 0.3 М).
- ☐ **Ідентифікація та вибір залежних змінних (змінних відгуку):** Визначення того, що саме буде вимірюватися.
 - *Приклад:* Швидкість реакції (вимірюється як зміна концентрації реагентів/продуктів за одиницю часу).

- ☐ **Визначення контрольованих змінних:** Перелік факторів, які потрібно підтримувати постійними.
 - *Приклад:* Тиск, об'єм реакційного середовища, перемішування.
- ☐ **Вибір типу експерименту:**
 - **Однофакторний експеримент:** Змінюється лише одна незалежна змінна, інші підтримуються постійними. Простий у виконанні, але не дозволяє виявити взаємодію факторів.
 - **Багатофакторний експеримент:** Одночасно змінюється кілька незалежних змінних. Дозволяє виявити взаємодію факторів та ефективніше використовувати ресурси. Методи: повний факторний експеримент, дробовий факторний експеримент, центральне композиційне планування.
 - **План-графік експерименту (дизайн експерименту):** Детальний опис послідовності проведення експериментів, включаючи кількість повторень, рандомізацію, блокування.
 - **Рандомізація:** Випадкове чергування умов експерименту для мінімізації впливу неконтрольованих факторів.
 - **Повторення:** Багаторазове проведення експерименту за одних і тих самих умов для підвищення точності та оцінки випадкової похибки.
 - **Блокування:** Групування однорідних експериментальних одиниць для зменшення варіабельності та підвищення чутливості виявлення ефектів.
- ☐ **Вибір методів вимірювання та інструментарію:** Забезпечення точності, достовірності та адекватності вимірювань.
- ☐ **Визначення процедури збору даних:** Як будуть записуватися та зберігатися дані.
- ☐ **Вибір методів статистичної обробки даних:** Які статистичні методи будуть використовуватися для аналізу результатів.
- ☐ **Розробка протоколу експерименту:** Детальна покрокова інструкція для проведення експерименту.
- ☐ **Пробний експеримент (пілотний запуск):** Допомогає виявити потенційні проблеми та вдосконалити процедуру.

3. Параметри оптимізації

Оптимізація — це процес пошуку найкращих умов (значень незалежних змінних), при яких досягається максимальне або мінімальне значення залежної змінної (показника якості, ефективності тощо).

Основні параметри оптимізації:

- **Цільова функція (функція відгуку)** — математичне вираження залежної змінної від незалежних змінних. Метою оптимізації є знаходження екстремуму (максимуму або мінімуму) цієї функції.
 - *Приклад:* Максимальна швидкість реакції, мінімальна собівартість продукту, максимальна міцність матеріалу.
- ☐ **Критерій оптимізації** — чітко сформульоване правило, що дозволяє порівнювати різні варіанти та вибрати найкращий.
- ☐ **Обмеження** — умови, які повинні бути дотримані під час оптимізації (наприклад, діапазон температур, допустимі концентрації, бюджетні обмеження).
- ☐ **Методи оптимізації:**
 - **Метод градієнтного спуску/підйому:** Пошук екстремуму шляхом послідовного руху у напрямку найбільшого градієнта функції відгуку.
 - **Метод найшвидшого спуску:** Аналогічний градієнтному, але з оптимальним вибором довжини кроку.
 - **Метод Сімплекса (Нелдера-Міда):** Пошук екстремуму за допомогою геометричних фігур (симплексів). Ефективний для функцій з багатьма локальними екстремумами.
 - **Генетичні алгоритми:** Методи, що імітують природний відбір для пошуку оптимальних рішень.
 - **Метод рою частинок:** Метаевристичний алгоритм, натхненний соціальною поведінкою птахів або риб.

- **Методи Монте-Карло:** Використання випадкових чисел для моделювання та оптимізації.
- **Методи планування експерименту (DOE - Design of Experiments):** Дозволяють ефективно досліджувати багатофакторні системи та будувати моделі для оптимізації. До них відносяться:
 - **Повний факторний експеримент:** Дослідження всіх можливих комбінацій рівнів факторів.
 - **Дробовий факторний експеримент:** Використання підмножини комбінацій для зменшення кількості експериментів.
 - **Центральне композиційне планування (CCD):** Дозволяє будувати квадратичні моделі та знаходити оптимальні умови.
 - **Плани Бокса-Бенкена (BBD):** Альтернатива CCD, часто вимагає менше експериментів.

Етапи оптимізації:

1. **Визначення області пошуку:** Встановлення діапазонів значень для незалежних змінних.
2. **Проведення експериментів:** Збір даних відповідно до обраного плану.
3. **Побудова моделі відгуку:** Створення математичної моделі, що описує залежність цільової функції від факторів (наприклад, поліноміальної регресійної моделі).
4. **Аналіз моделі та пошук оптимуму:** Використання аналітичних або чисельних методів для знаходження значень факторів, що максимізують/мінімізують цільову функцію.
5. **Верифікація оптимуму:** Проведення додаткових експериментів в умовах, знайдених як оптимальні, для підтвердження результатів.

Висновок

Експеримент є потужним інструментом для отримання знань та вдосконалення процесів. Чітке розуміння термінології, ретельне планування та використання відповідних методів оптимізації дозволяють досягати значущих наукових та практичних результатів. Від правильності кожного етапу залежить достовірність отриманих даних та ефективність прийнятих рішень.

Тема 4

«Повний факторний експеримент. Дробовий факторний експеримент»

У сфері експериментальних досліджень та оптимізації процесів, факторні експерименти відіграють ключову роль. Вони дозволяють систематично вивчати вплив кількох змінних (факторів) на один або кілька виходів (змінних відгуку). Існують два основні підходи до факторних експериментів: повний факторний експеримент та дробовий факторний експеримент.

1. Повний факторний експеримент (ПФЕ)

Визначення: Повний факторний експеримент – це такий вид експериментального планування, де випробовуються всі можливі комбінації рівнів кожного фактора. Якщо у нас є k факторів, і кожен фактор має p рівнів, то загальна кількість експериментальних випробувань (дослідів) становитиме p^k . Найбільш поширеними є двофакторні експерименти, де кожен фактор має два рівні (наприклад, низький і високий), що дає 2^k дослідів. **Мета ПФЕ:** Основна мета повного факторного експерименту полягає в тому, щоб:

- Оцінити основні ефекти кожного фактора (як кожен фактор окремо впливає на змінну відгуку).
- Оцінити ефекти взаємодії між факторами (як вплив одного фактора змінюється залежно від рівня іншого фактора).
- Побудувати математичну модель, яка описує залежність змінної відгуку від факторів.

Переваги ПФЕ:

- **Вичерпна інформація:** ПФЕ надає повну інформацію про всі основні ефекти та ефекти взаємодії.
- **Висока точність:** Завдяки вивченню всіх комбінацій, оцінки ефектів є точними та не зміщеними.
- **Виявлення взаємодій:** Це найкращий метод для виявлення складних взаємодій між факторами, які можуть бути неочевидними.

Недоліки ПФЕ:

- **Велика кількість експериментів:** Кількість дослідів швидко зростає зі збільшенням кількості факторів. Наприклад, для 5 факторів з двома рівнями потрібно $2^5 = 32$ дослідів, а для 10 факторів – $2^{10} = 1024$ дослідів. Це може бути надзвичайно ресурсомістким, дорогим і тривалим.
- **Неефективність для великої кількості факторів:** При великій кількості факторів, значна частина експериментальних випробувань може бути неефективною, оскільки високопорядкові взаємодії часто незначущі.

Приклад ПФЕ: Уявімо, що ми хочемо вивчити вплив температури (А) та концентрації каталізатора (В) на вихід продукту хімічної реакції. Кожен фактор має два рівні:

- Температура (А): низька (Т1), висока (Т2)
- Концентрація каталізатора (В): низька (С1), висока (С2)

Кількість дослідів: $2^2 = 4$. Можливі комбінації:

1. Т1, С1
2. Т1, С2
3. Т2, С1
4. Т2, С2

2. Дробовий факторний експеримент (ДФЕ)

Визначення: Дробовий факторний експеримент – це різновид факторного експерименту, де проводиться лише частина з усіх можливих комбінацій рівнів факторів. Замість проведення всіх 2^k дослідів, ми вибираємо $2^{(k-p)}$ дослідів, де p – це так звана "ступінь дробовості". Це дозволяє значно скоротити кількість експериментів. **Мета ДФЕ:** Основна мета дробового факторного експерименту – це зменшити кількість необхідних експериментів, зберігаючи при цьому можливість оцінити найбільш важливі ефекти (основні ефекти та низькопорядкові взаємодії). **Принцип ДФЕ:** ДФЕ заснований на принципі

змішування (аліасування) ефектів. Це означає, що оцінка одного ефекту (наприклад, основного ефекту фактора А) насправді є комбінацією цього ефекту та одного або кількох інших ефектів (наприклад, взаємодії BCD). Змішування свідомо допускається, виходячи з припущення, що високопорядкові взаємодії (наприклад, потрійні, четверні і т.д.) є менш значущими або взагалі незначущими порівняно з основними ефектами та низькопорядковими взаємодіями. **Переваги ДФЕ:**

- **Економія ресурсів:** Значне скорочення кількості експериментів, часу та вартості. Це особливо важливо при великій кількості факторів.

- **Ефективність:** Дозволяє швидко ідентифікувати найбільш важливі фактори та їхні взаємодії.

- **Скринінг факторів:** Ідеально підходить для початкових стадій дослідження, коли потрібно визначити, які фактори є найбільш впливовими, і відсіяти менш важливі.

Недоліки ДФЕ:

- **Змішування ефектів (аліасування):** Це основний недолік. Неможливо розрізнити змішані ефекти без додаткових експериментів. Якщо змішаний ефект виявляється значущим, то неможливо однозначно визначити, який з ефектів, що входять до суміші, є справжнім винуватцем.

- **Втрата інформації:** Не надає повної інформації про всі можливі взаємодії, особливо високопорядкові.

Приклад ДФЕ: Розглянемо випадок 5 факторів (А, В, С, D, E), кожен з яких має 2 рівні. Для повного факторного експерименту нам потрібно $2^5 = 32$ дослідів. Ми можемо скористатися дробовим факторним експериментом 2^{5-1} (половина від повного факторіалу), що потребуватиме лише 16 дослідів. У цьому випадку, один з факторів (наприклад, E) генерується як взаємодія інших факторів (наприклад, E = ABC). Це призводить до змішування ефектів: основний ефект E буде змішаний з взаємодією ABC, AB з CE, AC з BE, AD з BC тощо.

3. Порівняльна таблиця

Характеристика	Повний факторний експеримент (ПФЕ)	Дробовий факторний експеримент (ДФЕ)
Кількість дослідів	2^k (для 2 рівнів: 2^k)	$2^{(k-p)}$ (значно менше)
Оцінка основних ефектів	Так, не зміщені	Так, але можуть бути змішані з взаємодіями
Оцінка взаємодій	Всі взаємодії, не зміщені	Лише низькопорядкові, можуть бути змішані
Виявлення взаємодій	Найкращий метод	Обмежено через змішування
Складність виконання	Висока при великій кількості факторів	Низька при великій кількості факторів
Використання ресурсів	Високі вимоги до часу, матеріалів, фінансів	Економічний

Характеристика	Повний факторний експеримент (ПФЕ)	Дробовий факторний експеримент (ДФЕ)
Рекомендоване застосування	Коли кількість факторів мала, або коли всі взаємодії важливі	На початкових стадіях, для скринінгу факторів, коли ресурсів мало

4. Вибір між ПФЕ та ДФЕ

Вибір між повним та дробовим факторним експериментом залежить від кількох факторів:

- **Кількість факторів:** Якщо факторів 2, 3 або 4, то повний факторний експеримент зазвичай є найкращим вибором, оскільки він надає вичерпну інформацію.

- **Доступні ресурси:** Якщо ресурси (час, гроші, матеріали) обмежені, а факторів багато, то дробовий факторний експеримент є більш практичним рішенням.

- **Мета дослідження:**

- Якщо метою є всебічне вивчення всіх можливих взаємодій, то ПФЕ незамінний.
- Якщо метою є ідентифікація найбільш впливових факторів та відсіювання неважливих на ранніх стадіях, то ДФЕ – оптимальний вибір.

□ **Рівень знань про систему:** Якщо про систему відомо мало, і є підозра на наявність складних взаємодій, ПФЕ може бути кращим. Якщо ж є обґрунтовані припущення про незначущість високопорядкових взаємодій, ДФЕ може бути використаний з меншим ризиком.

Висновок

Як повний, так і дробовий факторні експерименти є потужними інструментами в арсеналі дослідника. Повний факторний експеримент надає максимум інформації, але є ресурсомістким. Дробовий факторний експеримент дозволяє значно заощадити ресурси, жертвуючи повнотою інформації про високопорядкові взаємодії. Оптимальний вибір залежить від конкретних цілей дослідження, кількості факторів та наявних ресурсів. Часто дослідження починають з дробового факторного експерименту для скринінгу факторів, а потім переходять до повного або розширеного дробового експерименту з відібраними значущими факторами для більш детального вивчення та оптимізації.

Тема 5

«Методи обчислення експериментів. Засоби і методи вирішення задач оптимізації»

Вступ

У сучасному науково-технічному світі, де складність систем та процесів постійно зростає, експериментальні дослідження та оптимізація відіграють критично важливу роль. Вони дозволяють нам не тільки зрозуміти, як функціонують системи, але й покращити їхню продуктивність, ефективність та економічність. Ця лекція присвячена методам обчислення експериментів (що є ширшим поняттям, ніж просто "обчислення експериментів") та основним підходам до вирішення задач оптимізації.

1. Методи обчислення експериментів (Design of Experiments - DOE)

Термін "обчислення експериментів" не зовсім точно відображає суть цього розділу. Більш коректним є "планування експериментів" або "дизайн експериментів" (Design of Experiments, DOE). Це систематичний підхід до планування, проведення, аналізу та інтерпретації результатів експериментів. Основна мета DOE – отримати максимальну кількість інформації з мінімальною кількістю експериментальних випробувань.

Ключові принципи DOE:

- Рандомізація: Випадкове чергування умов експерименту для мінімізації впливу неконтрольованих або "змішувальних" факторів. Це допомагає забезпечити, що будь-які спостережувані відмінності є результатом змін, внесених експериментатором, а не зовнішніх факторів.
- Повторення: Багаторазове проведення одного й того ж експерименту за ідентичних умов. Це дозволяє оцінити випадкову похибку вимірювань і підвищити точність оцінок ефектів.
- Блокування: Групування експериментальних одиниць, які є подібними за певними характеристиками, в "блоки". Це допомагає зменшити варіабельність всередині блоків і підвищити чутливість виявлення ефектів від досліджуваних факторів.

Основні типи планів експериментів:

1. Повні факторні плани (Full Factorial Designs):
 - Суть: Досліджуються всі можливі комбінації рівнів факторів. Для k факторів з p рівнями кожен, кількість дослідів становить p^k . Найчастіше використовують 2^k плани, де кожен фактор має два рівні (низький і високий).
 - Переваги: Дають повну інформацію про основні ефекти та всі можливі взаємодії між факторами.
 - Недоліки: Кількість дослідів швидко зростає зі збільшенням кількості факторів, що робить їх непрактичними для великої кількості змінних.
 - Приклад: 2^3 план для трьох факторів (A, B, C) з двома рівнями (-, +) включатиме 8 дослідів.
2. Дробові факторні плани (Fractional Factorial Designs):
 - Суть: Використовується лише частина з усіх можливих комбінацій рівнів факторів. Замість 2^k дослідів проводиться 2^{k-p} дослідів, де p – це ступінь дробовості.
 - Переваги: Значно скорочують кількість експериментів, час та витрати, що робить їх ідеальними для початкового скринінгу великої кількості факторів.
 - Недоліки: Взаємодії між факторами "змішуються" (аліасуються), що може ускладнити інтерпретацію результатів. Зазвичай, передбачається, що високопорядкові взаємодії є незначущими.
 - Приклад: 2^{5-1} план для п'яти факторів дозволяє провести 16 дослідів замість 32, при цьому деякі ефекти будуть змішані.

1. Плани для побудови поверхонь відгуку (Response Surface Methodology - RSM):

- Суть: Використовуються для моделювання та оптимізації процесів, коли вже визначено найбільш важливі фактори. Метою є побудова емпіричної моделі (часто квадратичної) залежності змінної відгуку від факторів і пошук оптимальних умов.

- Типи планів:

- Центральні композиційні плани (Central Composite Designs - CCD): Включають факторні точки, центральні точки та "зоряні" точки. Дозволяють оцінити як лінійні, так і квадратичні ефекти, а також взаємодії.

- Плани Бокса-Бенкена (Box-Behnken Designs - BBD): Трирівневі неповні факторні плани, які не містять екстремальних "кутових" точок, що може бути корисним для факторів, які не можуть бути одночасно на своїх екстремальних рівнях.

- Переваги: Ефективні для оптимізації та пошуку оптимальних умов.

- Недоліки: Вимагають більшої кількості рівнів для кожного фактора, ніж 2^k плани.

2. Плани Тагучі (Taguchi Designs):

- Суть: Сфокусовані на робастному дизайні, тобто на створенні продуктів або процесів, які є стійкими до варіацій неконтрольованих факторів (шумів). Використовують ортогональні масиви.

- Переваги: Допомогають зменшити варіабельність процесу та покращити якість продукту при менших витратах.

- Недоліки: Деякі критикують їх за потенційне змішування ефектів та неефективність порівняно з деякими іншими методами RSM.

Процес DOE:

1. Визначення проблеми: Чітке формулювання цілей експерименту.
2. Вибір змінних відгуку: Що буде вимірюватися.
3. Вибір факторів та їхніх рівнів: Які фактори будуть змінюватися і в яких діапазонах.

4. Вибір плану експерименту: Визначення типу плану (ПФЕ, ДФЕ, CCD тощо).

5. Проведення експериментів: Збір даних згідно з планом.

6. Статистичний аналіз даних: Оцінка ефектів факторів, побудова моделей (наприклад, регресійних).

7. Інтерпретація результатів: Визначення значущих факторів та взаємодій, пошук оптимальних умов.

8. Верифікація: Проведення додаткових експериментів для підтвердження отриманих результатів.

2. Засоби і методи вирішення задач оптимізації

Оптимізація – це процес знаходження найкращого рішення серед усіх можливих, яке задовольняє певні критерії або цілі. У контексті експериментів, оптимізація часто включає пошук таких комбінацій факторів, які максимізують або мінімізують змінну відгуку.

Основні елементи задачі оптимізації:

- Цільова функція (функція відгуку, функція пристосованості): Функція, значення якої ми прагнемо максимізувати або мінімізувати.

- Змінні оптимізації (параметри): Незалежні змінні, значення яких ми змінюємо для пошуку оптимуму.

- Обмеження: Умови або діапазони, в яких можуть перебувати змінні оптимізації.

Класифікація методів оптимізації:

1. Аналітичні методи:

- Суть: Використання математичного апарату (диференціальне числення, лінійна алгебра) для знаходження точного аналітичного рішення.

- Застосування: Коли цільова функція та обмеження є диференційовними та простими.

- Приклад: Пошук екстремумів функції шляхом прирівнювання першої похідної до нуля.

2. Чисельні методи (ітераційні):

- Суть: Пошук оптимального рішення шляхом послідовних наближень, зазвичай починаючи з початкової точки і рухаючись до оптимуму.

- Переваги: Можуть бути застосовані до складних, нелінійних функцій, для яких аналітичне рішення неможливе.
- Недоліки: Залежать від початкової точки, можуть застрягти в локальному оптимумі, не гарантують знаходження глобального оптимуму.
- Приклади чисельних методів:
 - Методи градієнтного спуску/підйому: Рух у напрямку найбільшого градієнта (найшвидшого збільшення/зменшення) цільової функції.
 - Метод Ньютона: Використовує другі похідні (матрицю Гессе) для швидкої конвергенції до оптимуму.
 - Квазі-ньютонівські методи: Апроксимують матрицю Гессе, зменшуючи обчислювальні витрати.
 - Метод Сімплекса (Нелдера-Міда): Не вимагає обчислення похідних, заснований на переміщенні симплексу (геометричної фігури) у просторі параметрів.
- 1. Евристичні та метаевристичні методи (глобальна оптимізація):
 - Суть: Методи, які використовують інтуїтивні підходи та стратегії для пошуку "достатньо хорошого" рішення, особливо ефективні для складних, нелінійних, недиференційовних функцій з багатьма локальними екстремумами. Не гарантують знаходження глобального оптимуму, але добре справляються з його пошуком.
 - Переваги: Добре підходять для складних задач, менш чутливі до початкової точки, можуть уникати локальних оптимумів.
 - Недоліки: Обчислювально дорогі, не гарантують оптимального рішення, можуть вимагати тонкої настройки параметрів алгоритму.
 - Приклади евристичних методів:
 - Генетичні алгоритми (Genetic Algorithms - GA): Імітують процес природного відбору, де "популяція" потенційних рішень еволюціонує через мутації, кросинговери та відбір.
 - Оптимізація роєм частинок (Particle Swarm Optimization - PSO): Заснований на соціальній поведінці птахів або риб, де "частинки" рухаються в просторі пошуку, навчаючись одна в одній та відслідковуючи найкращі знайдені позиції.
 - Імітація відпалу (Simulated Annealing - SA): Імітує процес охолодження металу, де система поступово "замерзає" в оптимальному стані. Дозволяє іноді приймати гірші рішення для виходу з локальних оптимумів.
 - Мурашині алгоритми (Ant Colony Optimization - ACO): Засновані на поведінці мурах, які знаходять найкоротший шлях до їжі, залишаючи феромони.
- 1. Методи оптимізації, інтегровані з DOE:
 - Методологія поверхонь відгуку (RSM): Після проведення експериментів за планами CCD або BBD будується регресійна модель (поверхня відгуку). Потім ця модель аналізується (графічно або за допомогою чисельних методів) для знаходження оптимальних умов.
 - Напрямок найшвидшого підйому/спуску (Steepest Ascent/Descent): Використовується на ранніх етапах RSM для швидкого наближення до області оптимуму.

3. Програмні засоби для DOE та оптимізації

Для ефективного застосування цих методів існує багато програмних засобів:

- Спеціалізоване статистичне програмне забезпечення:
 - JMP (SAS Institute): Один з лідерів у DOE та RSM.
 - Minitab: Широко використовується в промисловості для статистичного аналізу та DOE.
 - Statistica (TIBCO): Комплексний пакет для статистики та аналізу даних.
 - Design-Expert (Stat-Ease): Спеціалізований пакет для RSM та факторних експериментів.
- Програмні мови з бібліотеками:
 - R: Має потужні пакети для DOE (наприклад, 'rsm', 'DoE.base', 'FrF2') та оптимізації.
 - Python: Бібліотеки, такі як 'scipy.optimize' (для чисельної оптимізації), 'pyDOE' (для планування експериментів), 'platypus' (для багатоцільової оптимізації).

□ Математичні пакети:

- MATLAB: Вбудовані функції для оптимізації (`fmincon`, `fminsearch`) та інструменти для DOE.
- Wolfram Mathematica: Потужні можливості для символьних та чисельних обчислень, включаючи оптимізацію.

Висновок

Планування експериментів (DOE) та методи оптимізації є невід'ємними компонентами сучасних досліджень та розробок. DOE дозволяє систематично досліджувати складні системи, отримуючи максимум інформації з мінімумом зусиль, тоді як методи оптимізації дають змогу знаходити найкращі умови для досягнення бажаних результатів. Розуміння цих підходів та вміння застосовувати відповідні інструменти є критично важливим для будь-якого фахівця, який прагне до ефективного вирішення наукових та інженерних задач. Вибір конкретного методу залежить від характеру задачі, кількості факторів, складності цільової функції та наявних ресурсів. Комплексне використання цих методик відкриває широкі можливості для інновацій та покращення в багатьох галузях.

Тема 6 «Розробка умов експерименту. Помилка експерименту»

Вступ

Успіх будь-якого експериментального дослідження значною мірою залежить від ретельної розробки його умов та глибокого розуміння природи та джерел експериментальної помилки. Правильно спланований експеримент дозволяє отримати достовірні та відтворювані результати, тоді як ігнорування цих аспектів може призвести до хибних висновків та марної витрати ресурсів.

1. Розробка умов експерименту

Розробка умов експерименту – це складний і багатоетапний процес, який передбачає деталізацію всіх аспектів проведення дослідження, від вибору факторів до процедур вимірювання та контролю.

Основні кроки та аспекти розробки умов:

1. Чітке визначення мети експерименту:
 - Що саме ми хочемо дослідити?
 - Яку гіпотезу перевірити?
 - Яку інформацію отримати?
 - *Приклад:* Визначити оптимальну температуру та час витримки для синтезу нового матеріалу з максимальною міцністю.
2. Ідентифікація та вибір факторів (незалежних змінних):
 - Які фактори можуть впливати на змінну відгуку?
 - Які з них є основними, а які другорядними?
 - *Приклад:* Температура, час витримки, концентрація реагентів, рН, тиск.
3. Визначення рівнів факторів:
 - В якому діапазоні будуть варіюватися значення кожного фактора?
 - Скільки рівнів буде у кожного фактора (два для факторних експериментів, більше для RSM)?
 - Рівні повинні бути реалістичними та технічно здійсненними.
 - *Приклад:* Температура: 100°C (низький), 150°C (середній), 200°C (високий). Час: 1 година (низький), 3 години (високий).
4. Вибір змінних відгуку (залежних змінних):
 - Що саме буде вимірюватися як результат експерименту?
 - Як ці змінні будуть кількісно оцінюватися?
 - *Приклад:* Міцність на розрив, вихід продукту, чистота, швидкість реакції.
5. Визначення контрольованих та неконтрольованих змінних:
 - Контрольовані: Фактори, які необхідно підтримувати постійними, щоб уникнути їхнього впливу на результат. Методи контролю: фіксація значень, стабілізація, використання високоточного обладнання.
 - Неконтрольовані (фонові, змішувальні): Змінні, які можуть впливати на результат, але їх важко або неможливо контролювати. Їхній вплив намагаються мінімізувати за допомогою рандомізації або блокування.
 - *Приклад контрольованих:* Вологість повітря, атмосферний тиск, якість реагентів з однієї партії.
6. Вибір дизайну експерименту (планування):
 - На основі кількості факторів, їхніх рівнів та мети експерименту вибирається відповідний план: повний факторний, дробовий факторний, центральний композиційний, Бокса-Бенкена тощо.
 - План визначає, які саме комбінації факторів будуть досліджені.
7. Розробка детальної процедури експерименту (протоколу):
 - Покроковий опис всіх дій, які необхідно виконати.
 - Вказівки щодо підготовки обладнання, реагентів, зразків.

- Інструкції з проведення вимірювань, запису даних.
- Процедури безпеки.
- Забезпечення відтворюваності: будь-який інший дослідник повинен мати можливість повторити експеримент, використовуючи цей протокол.

8. Вибір обладнання та методів вимірювання:

- Забезпечення необхідної точності, чутливості та діапазону вимірювань.
- Калібрування приладів.
- Оцінка потенційних похибок вимірювань.

9. Визначення кількості повторень:

- Скільки разів буде повторюватися кожна експериментальна умова?
- Кількість повторень впливає на статистичну потужність експерименту та можливість виявлення малих ефектів. Зазвичай, чим більше повторень, тим менша випадкова помилка.

10. Рандомізація порядку проведення дослідів:

- Якщо є можливість, порядок проведення експериментів повинен бути випадковим, щоб мінімізувати вплив систематичних помилок, таких як втома оператора, зміна температури навколишнього середовища з часом, дрейф приладів тощо.

11. Пілотний експеримент (пробний запуск):

- Проведення невеликого експерименту за розробленим планом.
- Дозволяє виявити непередбачені проблеми, "вузькі місця" у процедурі, перевірити функціональність обладнання, уточнити діапазони факторів.

2. Помилка експерименту

Жоден експеримент не є абсолютно точним. Завжди існують розбіжності між істинним значенням вимірюваної величини та отриманим експериментальним результатом. Ці розбіжності називаються експериментальними помилками. Розуміння джерел помилок та методів їх мінімізації є критично важливим для отримання достовірних даних.

Типи експериментальних помилок:

1. Систематичні помилки (Systematic Errors):

- Природа: Помилки, які діють в одному напрямку (завжди завищують або завжди занижують результат) і мають певне джерело. Їх можна виявити та, за можливості, усунути або скоригувати.

- Джерела:

- Інструментальні: Некалібровані прилади, несправне обладнання, неточність вимірювальних інструментів.

- Методичні: Недосконалість методу вимірювання, спрощення, невраховані фізичні явища, забруднення реагентів.

- Суб'єктивні (особисті): Помилки оператора, пов'язані з його звичками, неухважністю (наприклад, паралакс при зчитуванні показників).

□ Виявлення та усунення: Калібрування приладів, використання стандартних зразків, вдосконалення методики, навчання персоналу, проведення експериментів "всліпу" (коли оператор не знає очікуваного результату).

□ Наслідок: Зміщення результатів від істинного значення.

1. Випадкові помилки (Random Errors):

- Природа: Помилки, які діють випадковим чином, як у позитивному, так і в негативному напрямку, і не мають чітко визначеної причини. Вони є невід'ємною частиною будь-якого вимірювання.

- Джерела: Непередбачувані коливання навколишнього середовища (температури, тиску), електронні шуми в приладах, незначні зміни у властивостях матеріалів, випадкові коливання навичок оператора.

- Виявлення та усунення: Випадкові помилки не можуть бути усунені повністю, але їхній вплив можна мінімізувати шляхом:

- Збільшення кількості повторень (реплікацій): Середнє значення великої кількості вимірювань ближче до істинного значення.

- Статистична обробка даних: Використання методів математичної статистики для оцінки та врахування випадкових помилок (наприклад, розрахунок стандартного відхилення, довірчих інтервалів).

- Рандомізація: Допомогає перетворити систематичні помилки на випадкові.

- ☐ Наслідок: Розсіювання результатів навколо істинного значення.

1. Грубі помилки (Прوماхи, Blunders):

- Природа: Великі, несподівані помилки, що виникають через неуважність, неправильне виконання процедури, пошкодження обладнання або невірне зчитування даних.

- Джерела: Помилки у розрахунках, невірні записи, переплутані зразки, вимкнення живлення, розливи реагентів.

- Виявлення та усунення: Ретельна перевірка всіх кроків, повторні вимірювання, візуальний контроль, використання контрольних точок, уважність та дисципліна дослідника.

- Наслідок: Значне спотворення результатів, що може призвести до хибних висновків. Такі дані зазвичай виключаються з аналізу як аномальні.

Кількісна оцінка помилок:

- Абсолютна похибка: Різниця між вимірним значенням та істинним (або прийнятим за істинне).

- Відносна похибка: Абсолютна похибка, виражена у відсотках або частках від вимірюного (або істинного) значення.

- Стандартне відхилення (Standard Deviation): Міра розсіювання даних навколо середнього значення. Характеризує випадкову помилку.

- Дисперсія (Variance): Квадрат стандартного відхилення.

- Довірчий інтервал (Confidence Interval): Діапазон значень, в якому з певною ймовірністю (наприклад, 95%) знаходиться істинне значення вимірюваної величини.

Взаємозв'язок розробки умов та помилки експерименту

Ретельна розробка умов експерименту є першочерговим кроком до мінімізації всіх типів помилок:

- Систематичні помилки зменшуються за рахунок використання адекватних методик, каліброваного обладнання та стандартизованих процедур.

- Випадкові помилки контролюються через відповідний дизайн експерименту (кількість повторень, блокування) та подальшу статистичну обробку.

- Грубі помилки запобігаються завдяки детальному протоколу, навчанню персоналу та уважності.

Висновок

Розробка умов експерименту – це не просто технічний аспект, а критично важливий етап наукового дослідження, який вимагає глибокого аналізу, планування та передбачення. Лише за умови ретельного підходу до кожного етапу – від формулювання мети до вибору методик та контролю – можна забезпечити достовірність та відтворюваність експериментальних результатів. Розуміння природи та джерел експериментальних помилок дозволяє досліднику ефективно керувати ними, мінімізувати їхній вплив і, таким чином, зробити обґрунтовані та надійні висновки зі своїх експериментів.

Тема 7

«Оформлення результатів експерименту. Обробка результатів»

Вступ

Проведення експерименту, навіть найретельніше спланованого та виконаного, є лише частиною наукового дослідження. Не менш важливим етапом є правильна обробка отриманих даних та їхнє чітке, логічне й переконливе оформлення. Від того, наскільки якісно виконані ці етапи, залежить цінність дослідження, можливість його відтворення іншими вченими та переконливість зроблених висновків.

1. Обробка результатів експерименту

Обробка результатів експерименту – це сукупність дій, спрямованих на перетворення сирих експериментальних даних на осмислену інформацію, що дозволяє робити висновки щодо поставлених гіпотез. Цей етап тісно пов'язаний зі статистичним аналізом.

Основні етапи обробки даних:

1. Первинна перевірка та очищення даних (Data Cleaning):
 - Перевірка на повноту: Чи всі очікувані дані були зібрані?
 - Ідентифікація та обробка пропусків (missing values): Вирішення, як поводитися з відсутніми даними (видалення записів, імплікація, середнє значення тощо).
 - Виявлення викидів (outliers): Значення, які значно відхиляються від інших даних. Необхідно з'ясувати причину їхньої появи (помилка вимірювання, помилка запису, реальна аномалія). Залежно від причини, викиди можуть бути видалені, скориговані або збережені для подальшого аналізу.
 - Перевірка на узгодженість та логічність: Чи відповідають дані встановленим діапазнам, чи немає очевидних протиріч.
1. Дескриптивний (описовий) аналіз даних:
 - Центральні тенденції: Обчислення середнього арифметичного, медіани, моди для характеристики "типового" значення.
 - Міри розсіювання (варіації): Обчислення стандартного відхилення, дисперсії, діапазону, міжквартильного розмаху для оцінки розкиду даних.
 - Частотні розподіли: Побудова гістограм, полігонів частот для візуалізації розподілу даних.
 - Графічне представлення: Побудова діаграм розсіювання, стовпчикових діаграм, лінійних графіків для візуалізації взаємозв'язків та тенденцій.
1. Інференційний (статистичний) аналіз даних:
 - Перевірка статистичних гіпотез:
 - Нульова гіпотеза (H_0): Припущення про відсутність ефекту або відмінностей.
 - Альтернативна гіпотеза (H_1): Припущення про наявність ефекту або відмінностей.
 - Використання статистичних тестів (t-критерій, F-критерій, ANOVA, хі-квадрат тощо) для оцінки ймовірності отримання спостережуваних результатів, якщо нульова гіпотеза є вірною (p-значення).
 - Якщо p-значення менше за встановлений рівень значущості (наприклад, $\alpha = 0.05$), нульова гіпотеза відхиляється на користь альтернативної.
 - ☐ Регресійний аналіз: Побудова математичних моделей, що описують залежність змінної відгуку від факторів. Визначення коефіцієнтів регресії, коефіцієнта детермінації (R^2), перевірка значущості моделі.
 - ☐ Аналіз варіантності (ANOVA): Використовується для порівняння середніх значень трьох або більше груп і визначення, чи є статистично значущі відмінності між ними.
 - ☐ Кореляційний аналіз: Оцінка сили та напрямку лінійного зв'язку між двома або більше змінними.
1. Інтерпретація результатів:

- Переклад статистичних висновків на мову предметної області.
- Визначення, які гіпотези підтвердилися, а які ні.
- Пояснення спостережуваних взаємозв'язків та ефектів.
- Обговорення обмежень дослідження та можливих джерел помилок.
- Формулювання висновків та рекомендацій.

2. Оформлення результатів експерименту

Оформлення результатів є фінальним етапом, що узагальнює все дослідження. Це вимагає чіткості, логічності, послідовності та відповідності академічним (або інженерним) стандартам.

Основні елементи оформлення результатів (зазвичай в рамках наукового звіту, статті, дисертації):

1. Назва (Title): Повинна бути інформативною та точно відображати зміст дослідження.

1. Анотація (Abstract): Короткий виклад мети, використаних методів, основних результатів та ключових висновків.

1. Вступ (Introduction):

- Обґрунтування актуальності теми.
- Огляд літератури (що відомо, що невідомо).
- Формулювання проблеми, мети та завдань дослідження.
- Визначення гіпотез.

1. Матеріали та методи (Materials and Methods):

• Детальне описання експериментальної установки: Прилади, обладнання, їхні характеристики та виробники.

• Опис використаних матеріалів та реагентів: Їхня чистота, походження.

• Опис процедури експерименту: Покрокова інструкція, достатньо детальна, щоб інший дослідник міг повторити експеримент (план експерименту, кількість повторень, рандомізація, контрольовані параметри).

• Опис методів вимірювання та збору даних: Точність, одиниці вимірювання.

• Опис методів статистичної обробки даних: Використане програмне забезпечення, статистичні тести, рівні значущості.

1. Результати (Results):

• Представлення даних:

• Текст: Стислий опис основних знахідок, що підкріплює таблиці та рисунки. Важливо не дублювати інформацію, а підкреслювати ключові аспекти.

• Таблиці: Використовуються для подання точних числових даних. Кожна таблиця повинна мати чіткий заголовок, нумерацію, одиниці вимірювання та бути зрозумілою без звернення до тексту.

• Рисунки (графіки, діаграми): Візуалізують тенденції, взаємозв'язки, розподіли, порівняння. Кожен рисунок повинен мати чітку підпис, нумерацію, легенду, підписи осей.

Типи рисунків:

• Діаграми розсіювання (Scatter plots): Для показу зв'язку між двома змінними.

• Столпчикові діаграми (Bar charts): Для порівняння категорій.

• Лінійні графіки (Line graphs): Для показу тенденцій у часі або залежності від безперервного фактора.

• Гістограми (Histograms): Для відображення розподілу даних.

• Коробкові діаграми (Box plots): Для візуалізації розподілу даних та виявлення викидів.

• Діаграми взаємодії (Interaction plots): Для візуалізації ефектів взаємодії між факторами.

□ Статистичні дані: Представлення р-значень, довірчих інтервалів, коефіцієнтів кореляції/регресії, значень F-статистики тощо.

1. Обговорення (Discussion):

- Інтерпретація результатів: Пояснення, що означають отримані дані, як вони відповідають (або не відповідають) початковим гіпотезам.
- Порівняння з літературними даними: Співставлення своїх результатів з результатами інших дослідників.
- Пояснення несподіваних результатів: Якщо такі є.
- Обмеження дослідження: Які аспекти не були враховані, які можуть бути джерела невизначеності.
- Практичне значення: Як результати можуть бути використані.
- Напрямки подальших досліджень.
- Висновки (Conclusion): Коротке узагальнення основних результатів та висновків, що відповідають меті дослідження.
- Подяки (Acknowledgements): Якщо є.
- Список використаної літератури (References): Перелік всіх джерел, на які посилається автор.
- Додатки (Appendices): Сирі дані, детальні розрахунки, фотографії обладнання тощо.

Рекомендації до оформлення:

- Чіткість та лаконічність: Викладайте думки чітко, уникайте зайвих слів.
- Точність: Використовуйте точні терміни та формулювання.
- Об'єктивність: Представляйте результати неупереджено.
- Відповідність стандартам: Дотримуйтесь вимог до оформлення (наприклад, APA, MLA, ISO тощо).
- Візуалізація: Ефективно використовуйте таблиці та рисунки, щоб зробити дані більш зрозумілими.
- Зв'язок між розділами: Забезпечте логічний перехід від одного розділу до іншого.

Висновок

Якісна обробка та оформлення результатів експерименту є невід'ємною частиною наукового циклу. Це дозволяє не тільки перевірити гіпотези та отримати нові знання, а й ефективно комунікувати ці знання науковій спільноті та суспільству. Ретельний аналіз даних, критична інтерпретація та професійне представлення результатів забезпечують достовірність, прозорість та значущість будь-якого експериментального дослідження.

Тема 8

«Накопичення та обробка наукової і технічної інформації. Наукові кадри»

Сучасний світ характеризується експоненціальним зростанням обсягів інформації, що є як благом, так і викликом для наукової та технічної сфери. Ефективне накопичення та обробка цієї інформації є фундаментальною передумовою для будь-якого прогресу, а ключовим фактором у цьому процесі виступають висококваліфіковані наукові кадри.

Накопичення наукової і технічної інформації — це багатогранний процес, що охоплює збір даних з різноманітних джерел. Традиційно це включає результати експериментальних досліджень, теоретичні розробки, патентну інформацію, нормативно-технічну документацію, наукові публікації у журналах, монографіях, конференціях, а також звітну документацію про науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи. З розвитком цифрових технологій цей процес суттєво змінився. Сьогодні значна частина інформації генерується, зберігається та розповсюджується в електронному вигляді. Це бази даних, репозитарії, цифрові бібліотеки, спеціалізовані інформаційні системи та наукові платформи, які дозволяють не тільки збирати величезні масиви даних, але й забезпечувати до них швидкий доступ. Проте сам по собі обсяг інформації не гарантує її цінності; важливою є її достовірність, актуальність та релевантність. Тому критично важливим є етап фільтрації та селекції даних, щоб відокремити шум від справді цінних відомостей.

Обробка наукової і технічної інформації – це наступний, ще більш складний етап, що трансформує сирі дані в знання. Цей процес починається з попередньої обробки, яка може включати очищення даних від помилок, нормалізацію, стандартизацію та структурування. Далі застосовуються аналітичні методи, які дозволяють виявити приховані закономірності, тенденції та взаємозв'язки. Це може бути статистичний аналіз, машинне навчання, методи штучного інтелекту, текстовий аналіз для неструктурованих даних, візуалізація інформації для кращого розуміння складних систем. Сучасні обчислювальні можливості дозволяють проводити складне моделювання, симуляції та прогнозування, що є неможливим без адекватних інструментів і відповідного методологічного підходу. Результатом обробки є формування нових гіпотез, підтвердження або спростування існуючих теорій, розробка нових технологій та рішень. Ефективна обробка інформації не просто скорочує час на дослідження, але й відкриває можливості для міждисциплінарних відкриттів, інтегруючи дані з різних областей знання.

Безпосереднім рушієм цих процесів – від збору та фільтрації до глибокого аналізу та інтерпретації – є наукові кадри. Наукові кадри – це не просто фахівці, що володіють глибокими знаннями у своїй галузі; це особистості, здатні до критичного мислення, інновацій, постановки нових завдань та пошуку нестандартних рішень. Їхня роль починається з формулювання наукової проблеми, розробки методології дослідження, включаючи експериментальне планування. Саме вони здійснюють збір та первинну обробку даних, часто в умовах, що вимагають високої точності та уваги до деталей. Аналіз та інтерпретація результатів – це не тільки застосування статистичних методів, але й глибоке розуміння предметної області, здатність побачити за цифрами реальні фізичні, хімічні, біологічні чи соціальні процеси.

Ключовими компетенціями сучасних наукових кадрів є не лише глибокі знання у своїй спеціальності, а й володіння широким спектром інструментів обробки інформації – від статистичних пакетів до програм для моделювання та машинного навчання. Важливою є також здатність до міждисциплінарної співпраці, ефективної комунікації та представлення своїх результатів, як у формі наукових публікацій, так і для широкої аудиторії. Постійне самовдосконалення, навчання новим методам і технологіям є невід'ємною частиною професійного зростання науковця. Розвиток наукових кадрів вимагає системного підходу, що включає якісну освіту, можливості для проведення досліджень, доступ до сучасного обладнання та інформаційних ресурсів, а також стимулювання наукової діяльності через гранти, програми підтримки та належну оцінку праці. Забезпечення притоку молодих талановитих фахівців у науку, створення умов для їхнього професійного зростання та визнання їхніх досягнень є запорукою стійкого розвитку науково-технічного потенціалу країни та світу в цілому.

Таким чином, ефективна система накопичення та обробки наукової і технічної інформації, що базується на сучасних технологіях та підходах, є необхідною, але не достатньою умовою для розвитку. Вона набуває своєї справжньої цінності лише у поєднанні з висококваліфікованими науковими кадрами, які здатні осмислити цю інформацію, перетворити її на знання, а знання – на інновації та конкретні рішення, що рухають цивілізацію вперед.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Закон України «Про наукову та науково-технічну діяльність» №1977-ХІІ від 13 грудня 1991 року із змінами та доповненнями (поточна редакція 05.12.2012р.).
2. Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 № 1556-VII.
3. Економічні дослідження (методологія, інструментарій, організація, апробація : навч. посіб. / за ред А.А. Мазаракі. – 2-ге вид., допов. – К. : КНТЕУ, 2011. – 296 с.
4. Єрина А.М. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / А.М. Єрина, В.Б. Захожай, Д.Л. Єрин. – К. : Центр навчальної літератури, 2004. – 212 с.
5. Крушельницька О.В. Методологія і організація наукових досліджень : навч. посіб. / О.В. Крушельницька. – К. : Кондор, 2006. – 206 с.
6. Макогон Ю.В. Основи наукових досліджень в економіці : навч. посіб. / Ю.В. Макогон, В.В. Пилипенко. – Донецьк : Альфа-прес, 2007. – 144 с.
7. Романчиков В.І. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / Романчиков В.І. – К. : Центр навчальної літератури, 2007. – 254 с.
8. Соловйов С.М. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / С.М. Соловйов. – К. : Центр навчальної літератури, 2007. – 176 с.

Додаткова

9. Білуха М.Т. Основи наукових досліджень : підручник / М.Т. Білуха. – К. : Вища школа, 1997. – 271 с.
10. Грищенко І.М. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / І.М. Грищенко, О.М. Григоренко, В.А. Борисейко. – К. : КНТЕУ, 2001. – 186 с.
11. Стеченко Д.М. Основи наукових досліджень : підручник / Д.М. Стеченко. – К. : Знання, 2007. – 317 с.

Ресурси мережі Інтернет

12. Електронні каталоги інформаційних ресурсів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.analitik.ru>.
13. Інформаційно-пошукова система [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://inpos.com.ua>.
14. Пошукові служби Інтернет [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kinder.mksat.net/pages/libfindix/inetfind.htm>.
15. Сторінка Державного комітету статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua>.

Барсукова Ганна Володимирівна
Юрченко Олександр Юрійович
Лисенко Віта Василівна

ТЕОРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методичні вказівки

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул.
Г.Кондратьєва, 160

Підписано до друку: жовтень, 2026 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: 100 примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк.
