МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Д. П. Понкратов, Д. М. Рославцев, С. Б. Дульфан, В. В. Воронько, М. В. Ольхова

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для студентів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 275 – Транспортні технології (за видами)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2020

УДК 656.13

Понкратов Д. П. Основи наукових досліджень: конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 275 – Транспортні технології (за видами) / Д. П. Понкратов, Д. М. Рославцев, С. Б. Дульфан, В. В. Воронько, М. В. Ольхова; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 101 с.

Автори:
канд. техн. наук, доц. Д. П. Понкратов,
канд. техн. наук, доц. Д. М. Рославцев,
канд. техн. наук, доц. С. Б. Дульфан,
д-р техн. наук, проф. В. В. Воронько,
канд. техн. наук, доц. М. В. Ольхова

Рецензент
Ю. О. Давідіч, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних систем і логістики (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою транспортних систем і логістики,протокол № 1 від 31.08.2019.

Конспект лекцій складено з метою допомоги студентам при підготовці до занять з дисципліни «Основи наукових досліджень».

© Д. П. Понкратов, Д. М. Рославцев, С. Б. Дульфан, В. В. Воронько, М. В. Ольхова, 2020
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020

ЗМІСТ

ВСТУП……. 5
1 НАУКА ЯК СИСТЕМА ЗНАНЬ……. 7
1.1 Поняття науки, її об’єкт і предмет…….. 7
1.2 Класифікація наук та їхній розвиток…….. 10
1.3 Наукове дослідження як спосіб отримання нових знань…….. 12
1.4 Види та структура наукових досліджень…… 14
1.5 Методологія, методи та засоби наукових досліджень…….. 17
2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ І ТВОРЧОСТІ…….. 23
2.1 Формування й аналіз проблеми……... 23
2.2 Пошук, накопичення й обробка науково-технічної інформації…….. 24
2.3 Структура і психологічна специфіка творчого процесу……... 27
2.4 Вибір стратегії й тактики пошуку вирішення проблемних завдань… 29
2.5 Формування ідей……... 32
3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ…… 36
3.1 Завдання та методологія теоретичних досліджень…… 36
3.2 Методологія теоретичних досліджень…… 36
3.3 Використання математичних методів у теоретичних дослідженнях..... 39
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ……... 41
4.1 Класифікація та структура експерименту…….. 41
4.2 Основні поняття планування експерименту…….. 46
4.3 Засоби вимірювання……. 53
5 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ… 57
5.1 Статистичні методи оцінки вимірювань…… 57
5.2 Методи графічного зображення результатів досліджень……. 58
5.3 Регресійний і кореляційний аналіз..…… 61
5.4 Адекватність результатів досліджень……. 69

6 МОДЕЛЬ І МОДЕЛЮВАННЯ У НАУКОВОМУ ДОСЛІДЖЕННІ…….. 72
6.1 Загальні поняття та класифікація моделей……. 72
6.2 Вимоги, що висуваються до моделей……. 76
6.3 Етапи моделювання…….. 77
6.4 Математичне моделювання……. 79
6.5 Оптимізаційні моделі……... 82
6.6 Імітаційне моделювання……... 82
7 ПРОГНОЗУВАННЯ В НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ…… 86
7.1 Динамічні ряди чи ряди розвитку……..……. 86
7.2 Методи прогнозування…… 86
7.3 Верифікація прогнозів…….. 93
8 ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ……. 96
8.1 Аналіз результатів накових досліджень та формування висновків і пропозицій……... 96
8.2 Складання звітів з науково-дослідної роботи…… 98
СПИСОК ДЖЕРЕЛ……. 100

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Основи наукових досліджень» є формування у студентів навичок постановки наукових завдань у сфері транспортних технологій та їх вирішення на теоретичному та емпіричному рівнях.

Основними завданням вивчення дисципліни «Основи наукових досліджень» є вивчення методології, принципів та засобів організації й проведення наукових досліджень у сфері транспортних технологій.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

знати:

– структуру наукового дослідження, загальні принципи та понятійний апарат науки;

– технологію проведення наукового дослідження;

– сутність методу регресійного та кореляційного аналізу;

– вимоги, що висуваються до моделей, принципи їх розробки та використання;

– принципи, методи та технологію прогнозування;

– способи аналізу та інтерпретації результатів наукових досліджень, формування висновків та пропозицій;

– вимоги щодо оформлення результатів наукового дослідження;

вміти:

- використовуючи загальні принципи та понятійний апарат науки: аналізувати сучасний стан наукових проблем у сфері транспорту; визначати шляхи їх подолання; формулювати тему та завдання дослідження;

- використовуючи знання щодо технології проведення наукового дослідження на теоретичному та емпіричному рівнях, застосовувати відповідні наукові методи, виходячи зі специфіки об’єкту та завдань дослідження;

- використовуючи методи регресійного та кореляційного аналізу, на основі наявного статистичного матеріалу, проводити обробку результатів експериментальних досліджень та їх представлення у графічному вигляді;

- використовуючи знання щодо принципів, методів та етапів моделювання, з використанням відповідного математичного апарату, розробляти моделі транспортних процесів і систем;

- використовуючи знання щодо принципів, методів та етапів прогнозування, на підставі наявного статистичного матеріалу про зміну досліджуваного параметру за попередні періоди, виконувати його прогнозування на перспективу;

– використовуючи загальні принципи та понятійний апарат науки: проводити аналіз та виконувати інтерпретацію результатів наукових досліджень; формулювати висновки та пропозиції; оформлювати результати наукових досліджень у вигляді звіту, статті, заявки на винахід.

– ***мати компетентності*** з сучасних методів та методичних прийомів щодо проведення наукових досліджень у галузі транспортних систем і технологій.

1 НАУКА ЯК СИСТЕМА ЗНАНЬ

1.1 Поняття науки, її об'єкт і предмет

Наука – сфера пізнавальної діяльності людини, спрямована на отримання нових знань про природу, суспільство й мислення.

Наука як одна з форм суспільної свідомості в широкому сенсі включає:

– систему об'єктивних знань про закономірності природи й суспільства;

– сферу людської діяльності щодо одержання та реалізації нових знань;

– методологію одержання наукових даних, тобто методологію науки.

Метою науки є пізнання законів розвитку природи й суспільства, опис, пояснення і прогнозування процесів і явищ дійсності, а також вплив на природу шляхом використання знань для одержання корисних для суспільства результатів.

Кожна наука має об'єкт і предмет вивчення.

Об'єктом вивчення науки в цілому є природа, суспільство й мислення.

Кожен об'єкт – невичерпаний у своїх властивостях і відносинах, тому він вивчається не однією, а великою кількістю окремих наук. В об'єкті вивчення кожна з наук виділяє власний предмет.

Під ***предметом науки*** розуміють ту частину або бік об'єктивної дійсності, що вивчається цією наукою, тобто безпосередня спрямованість пізнавальної діяльності в цій науці на щось.

Об'єкт стосовно предмета первинний. Він становить абстрагований бік об'єкта, який прагнуть, наскільки це можливо, розглядати окремо від інших боків.

Предмет науки варто відрізняти від її змісту. Предмет науки становить певну грань, сферу об'єктивного світу, бік об'єкта вивчення, що існує незалежно від наукового пізнання. ***Зміст науки –*** це відображення боків об'єкта вивчення у вигляді законів науки, категорій та інших наукових положень.

Головна функція науки полягає у виробленні й теоретичній систематизації об'єктивних знань про дійсність. Тому науку й розуміють як функціонуюча система знань, результатом діяльності якої є нові наукові знання.

Знання – ідеальне відтворення в мовній формі узагальнених уявлень про закономірні зв'язки об'єктивного світу.

Наукове знання – це знання, що входить до тієї чи іншої науку і складають її елемент.

Функціями знання є узагальнення розрізнених уявлень про закономірності розвитку природи, суспільства й мислення; збереження в суспільних уявленнях усього того, що може передаватися як стійка основа практичних дій. Практична діяльність (практика) використовує знання для

оволодіння силами природи й використання їх на користь людині. Неузгодженість між знанням і незнанням у процесі взаємодії людини з природою – рушійна сила пізнання.

Пізнання – процес руху людської думки від незнання до знання, в основі якого лежить відображення об'єктивної дійсності у свідомості людини. Пізнання постає з практики, але потім саме спрямовується на практичне оволодіння дійсністю.

Наука як система знань має специфічну структуру, що включає низку елементів, що перебувають у тісному взаємозв'язку. Розвиток науки йде від збирання фактів, їхнього вивчення, систематизації й узагальнення.

Основним елементом науки є поняття. ***Поняття*** становить думку, що відбиває істотні й необхідні ознаки предмета чи явища. Розрізняють загальні, одиничні, збірні, абстрактні й конкретні, абсолютні й відносні поняття.

Загальні поняття пов'язані не з одним предметом, а з багатьма. ***Одиничні поняття –*** належать до одного визначеного предмета. ***Збірні*** – позначають групи однорідних предметів (ліс, транспортний потік). ***Конкретні поняття*** належать до конкретних предметів, тоді як ***абстрактні*** – окремо узятим ознакам предмета (білий предмет). ***Відносні поняття*** мисляться паралельно (начальник – підлеглий), у той час як ***абсолютні*** – не мають парних відносин.

Найширші поняття називають ***категоріями***, які становлять найбільш загальні абстракції. До категорій відносять філософські поняття про форму і зміст явищ (в економіці це товар, вартість тощо).

Розкриття змісту поняття називають його ***визначенням***.

Визначення поняття має відповідати таким ознакам:

1. Визначення має вказувати на найближче родове поняття. Наприклад, подаючи визначення багатокутника, слід вказати, що це геометрична фігура.

2. Визначення має вказувати на те, чим це поняття відрізняється від інших. Наприклад, визначаючи квадрат, потрібно вказати, що він належить до прямокутників і виділяється з-поміж останніх за ознакою рівності всіх сторін.

3. Визначення не може бути занадто широким і не може визначатися саме собою.

Елементами більш високого рівня є закони та теорії.

Закон – суттєвий внутрішній зв'язок явищ, які обумовлюють їхній необхідний закономірний розвиток. Закон виражає стійкий зв'язок між явищами чи властивостями матеріальних об'єктів.

Теорія (від лат. *theoreo* – розглядаю) – система узагальненого знання, пояснення тих чи інших аспектів дійсності. Вона виникає внаслідок узагальнення пізнавальної діяльності та практики.

Процес формування теорії не обов'язково ототожнюється з побудовою її математичного апарата. Вона проходить у своєму розвитку різні стадії: від

якісного пояснення процесів і їхнього кількісного вимірювання до формалізації останніх. Тому теорія може бути подана як у вигляді якісних правил, так і математичних рівнянь.

Вихідні положення наукової теорії називають постулатами чи аксіомами.

Аксіома (постулат) – це положення, що приймається як вихідне, недовідне, і з якого виводять усі інші припущення й висновки теорії за заздалегідь фіксованими правилами. Аксіоми очевидні без доведення.

Принцип – це правило, яке виникає внаслідок суб'єктивно осмисленого досвіду людей.

Процес формування теорії включає такі етапи:

– виникнення ідей;

– формування понять;

– висунення гіпотез;

– узагальнення наукових фактів;

– доведення правильності гіпотез.

Наукова ідея – інтуїтивне пояснення явища без проміжної аргументації, без усвідомлення всієї сукупності зв'язків, на підставі якої робиться висновок.

Гіпотеза – це припущення про причину, що викликає певний наслідок. Доведена практикою гіпотеза перетворюється на закон або теорію.

Інструментом формування гіпотез є мислення людини. ***Мислення –*** це опосередковане й узагальнене відображення в мозку людини істотних властивостей, причинових відносин і закономірних зв'язків між об'єктами чи явищами. Інструментами мислення є судження й умовиводи.

Судження – це думка, у якій за допомогою зв'язку понять стверджується чи заперечується що-небудь. Судження зіставляє поняття, установлює об'єктивний зв'язок між мислимими предметами та їхніми ознаками або між предметами і класом предметів.

До судження про предмет чи явище людина може дійти за допомогою безпосереднього спостереження за певним фактом, чи в опосередкований спосіб – за допомогою умовиводу.

Умовивід – процес мислення, що складає послідовність двох чи декількох суджень, унаслідок яких виводиться нове судження. Часто умовивід називають висновком, через який установлюється перехід від мислення до дії, до практики.

Умовиводи поділяють на дві категорії: дедуктивні й індуктивні. ***Дедуктивні*** умовиводи – це виведення певного загального положення. В ***індуктивних*** умовиводах на підставі окремих випадків приходять до загального положення.

1.2 Класифікація наук та їхній розвиток

Структура наукового знання розкривається у класифікації наук. ***Класифікація наук*** – це розкриття їхнього взаємного зв'язку на підставі принципів і вираження цих зв'язків у вигляді логічно обґрунтованого розташування чи ряду.

Класифікаційною ознакою сучасної системи наук є форма руху матерії та її субстратна база.

В основу схеми класифікації сучасних наук покладено потрійний характер структури всього наукового знання і спіральний характер його розвитку, що випливає з діалектичного розуміння структури й еволюції системи «природа – суспільство – мислення».

Класифікаційна схема базується на принципах формування структури науки, запропонованих В. М. Кедровим:

1) ***принцип субординації*** – розвиток більш високих форм із тих, що стоять нижче;

2) ***принцип об'єктивності***, відповідно до якого науки мають розташовуватися послідовно й бути пов'язаними між собою;

3) ***принцип безперервності розвитку*** вказує на відсутність будь-яких розривів між науками.

Основні принципи розвитку наук: наступність, диференціація, спеціалізація, інтеграція. Головною тенденцією в розвитку сучасних наук є перехід від диференціації до інтеграції.

Наука в цілому як система окремих наук умовно поділяється на три великі групи (підсистеми): суспільні, природничі, технічні. Ці групи різняться за предметами та методами дослідження. Чіткої межі між цими підсистемами немає.

До об'єкта дослідження ***суспільних наук*** належить суспільство в різноманітних його проявах і функціях (закони виникнення й розвитку, структура суспільства тощо).

Природничі науки (природознавство) – це система наук про природу, яка становить об'єкт їхнього дослідження.

Природничі науки переслідують дві основні цілі:

– розкриття сутності явищ природи, пізнання їхніх законів і передбачення на цій основі нових явищ;

– вказівка на можливість використання на практиці законів природи, що відкриваються.

Оскільки природа є передумовою виникнення й функціонування суспільства, існують науки, що перебувають на стику суспільних і природничих наук (антропологія, географія, медицина тощо).

Об’єктом дослідження ***технічних наук*** служать штучно створювані технічні пристрої, що ґрунтуються на свідомому використанні об’єктивних законів природи й задоволенні практичних потреб суспільства. Технічні науки пов’язують природознавство з проектуванням техніки, розробкою методів, правил, норм і принципів проектування технічних систем.

До особливої сфери належить філософія як наука про найбільш загальні закони розвитку природи, суспільства й мислення.

За спрямованістю й безпосереднім відношенням до практики науки поділяються на фундаментальні і прикладні.

Метою ***фундаментальних наук*** є пізнання законів, що керують поведінкою та взаємодією базисних структур природи, суспільства й мислення. Вони розвиваються безвідносно до можливості безпосереднього використання, тому іноді називаються «чистими» науками.

Відмінність фундаментальних наук від прикладних полягає у глибині розкриття сутності досліджуваних явищ і в широті застосування їхніх законів і теорій.

Провести чітку межу між фундаментальними і прикладними науками неможливо, але прийнято вважати, що ***фундаментальні науки*** займаються переважно виявленням, вивченням і теоретичною систематизацією явищ, законів і закономірностей розвитку природи, суспільства і техніки, а ***прикладні*** – вивченням шляхів і способів практичного використання результатів фундаментальних досліджень.

Здатність і готовність науки ефективно вирішувати поточні й перспективні завдання, що постають перед суспільством, характеризує ***науковий потенціал***.

До найважливіших його показників відносять:

– кадрову, інформаційну й матеріально-технічну забезпеченість науки;

– рівень розвитку суспільних, природних і технічних наук;

– характер зв’язку науки та суспільної практики;

– рівень освіти і кваліфікацію наукових співробітників;

– якість навчальних і науково-дослідних установ.

Сучасна наука тісно пов’язана з технікою, тому науковий потенціал часто розглядають разом із технічним. Зростаюча інтеграція науки й техніки виявилася у виникненні й широкому застосуванні поняття ***«науково-технічний потенціал»***. Останнє відбиває не тільки досягнутий рівень наукового знання, але й ступінь його використання в техніці та технології, здатність науки брати участь у вирішенні кардинальних практичних завдань, що виникають у різних сферах громадського життя.

Розвиток науки і техніки об’єднує поняття науково-технічного прогресу. ***Науково-технічний прогрес*** – єдиний, взаємозумовлений, поступальний розвиток науки і техніки. Специфічною формою перебігу науково-технічного

прогресу є науково-технічна революція. ***Науково-технічна революція*** становить докорінну якісну зміну науково-технічного потенціалу суспільства, якісний стрибок у розвитку сучасних виробничих сил, що характеризується перетворенням науки на провідну силу виробництва.

Специфіка сучасної науково-технічної революції полягає в тому, що наука, техніка й виробництво виявляються настільки взаємозалежними, що відокремлення їхнє функціонування вже стає неможливим. Під впливом науки змінюється не тільки характер виробництва, а й роль людини у виробничому процесі. За таких умов наука виступає провідною, найбільш активною та швидкодіючою ланкою в цілісній системі «наука – техніка – виробництво». Кожен черговий крок у розвитку техніки спирається наукову розробку, що передувала йому.

1.3 Наукове дослідження як спосіб отримання нових знань

Наукове дослідження – це процес вивчення визначеного об'єкта (предмета чи явища) із метою розкриття закономірностей його виникнення, розвитку й перетворення; це процес вироблення нових наукових знань. Результатом наукового дослідження є розвиток системи наукових знань, її удосконалення, перетворення й поповнення, а також систематизація та перевірка наукових результатів на практиці, їхнє впровадження у виробництво.

Будь-яке наукове дослідження має свій об'єкт і предмет. Зазвичай ***об'єктом наукового дослідження*** є матеріальна або ідеальна система. Однак, об'єктом наукового пізнання є не тільки об'єкти природи та суспільні відносини, але й пізновальна діяльність. ***Предметом дослідження*** можуть бути: структура системи, закономірності взаємодії елементів системи, закономірності функціонування чи еволюція системи, різні властивості, якості тощо.

Наукові дослідження є формою розвитку науки. Рушійною силою науки є потреби суспільства (соціальні, економічні, екологічні й тощо).

Наприклад, ще на початку XX ст. основним видом транспорту був гужовий. Розвиток економіки обумовив збільшення вантажних потоків, освоєння яких гужовим транспортом не було можливим. Це стало поштовхом до розвитку наукових досліджень у сфері автомобільного транспорту, більш продуктивного, ніж гужовий. Однак, наразі автомобільний транспорт далеко не повністю забезпечує соціальні потреби, тобто вступає у протиріччя з суспільством (автомобілізація, транспортні проблеми міст, обмеженість палевних ресурсів).

Результатом наукового дослідження є формування наукових знань про досліджувані об'єкти.

Пізнавальна діяльність є науковим дослідженням, якщо нове знання відповідає визначеним критеріям науковості. Сутність наукового знання полягає в достовірному узагальненні фактів, у тому, що за випадковим воно знаходить необхідне, закономірне, за одиничним та частним – загальне, і на цій основі здійснює передбачення різних явищ, об'єктів і подій.

Наукові знання представлені двома рівнями: емпіричним і теоретичним.

Емпіричним називається наукове знання, отримане з досвіду за допомогою спостережень і експериментів, а також раціонально оброблено, тобто виражене визначеною мовою.

Теоретичне наукове знання – знання, що відбиває досліджуваний об'єкт на рівні його внутрішніх зв'язків, закономірностей становлення, розвитку й існування, отриманих не тільки з досвіду, але й шляхом абстрактного мислення. Теоретичні знання виникають на основі узагальнення попередніх знань, зокрема результатів спостережень і експериментів.

Наукові знання на теоретичному рівні виражаються в принципах і законах, зведених у логічно непротирічну систему тверджень про цю предметну сферу.

Відповідно до двох рівнів знань розрізняють і два взаємозалежні рівні наукових досліджень: емпіричний і теоретичний.

На емпіричному рівні йде процес накопичення фактів. На цьому рівні встановлюються нові факти науки, і на основі їхнього узагальнення формулюються емпіричні закономірності.

Науковий факт становить результат достовірного спостереження, експерименту. Самі по собі факти не складають ще науки. Їх включають до складу науки лише після добору, класифікації, узагальнення та пояснення.

На теоретичному рівні досягається синтез знання у формі наукової теорії. На цьому рівні висуваються та формулюються загальні для цієї предметної сфери закономірності, що дозволяють пояснити раніше відкриті факти й емпіричні закономірності, а також спрогнозувати майбутні події та явища.

Завданнями теоретичного дослідження є такі:

– узагальнення результатів дослідження, пошуку загальних закономірностей шляхом виявлення істотного в дослідних даних;

– розповсюдження результатів дослідження на низку подібних об'єктів без повторення всього обсягу досліджень;

– вивчення об'єкта недоступного для безпосереднього експериментального дослідження;

– підвищення ефективності експериментального дослідження об'єкта (послідовність проведення, на які фактори варто звертати увагу, а якими можна знехтувати, за яких умов проводити спостереження).

Обидва види дослідження є органічно взаємозалежними. Емпіричне дослідження, виділяючи нові дані спостереження й експерименту, стимулює розвиток теоретичного дослідження, ставить перед ним нові завдання. З другого боку, теоретичні дослідження, розвиваючи й конкретизуючи теоретичний зміст науки, відкриває нові перспективи пояснення й передбачення фактів, орієнтує та скеровує емпіричне дослідження.

Зазвичай емпіричне й теоретичне дослідження становлять етапи ***комплексного дослідження***. Метою теоретичного етапу в комплексному дослідженні, наприклад, може бути визначення напрямку експериментальних досліджень, умов їхнього проведення. Експерементальний етап дослідження необхідний, зокрема, для визначення числових значень параметрів математичної моделі об'єкта дослідження. Комплексне дослідження здебільшого закінчується експерементальною перевіркою остаточної моделі об'єкта.

1.4 Види та структура наукових досліджень

Наукові дослідження класифікують за п'ятьма ознаками:

- видами зв'язку з суспільним виробництвом;
- ступенем важливості для народного господарства;
- цільовим призначенням;
- джерелами фінансування;
- тривалістю проведення.

За видами зв'язку з суспільним виробництвом наукові дослідження поділяють на роботи, спрямовані на створення нових технологічних процесів, конструкцій, машин, підвищення ефективності виробництва, поліпшення умов праці, розвиток особистості людини тощо.

За ступенем важливості для народного господарства наукові дослідження поділяють на такі:

– найважливіші роботи, що виконуються за постановами директивних органів, за державними науково-технічними програмами, програмами обласних центрів, координаційними планами управлінь із науки і техніки;

– роботи, що виконуються за планами галузевих міністерств і відомств;

– роботи, що виконуються з ініціативи і планів науково-дослідних організацій.

За цільовим призначенням виділяють фундаментальні, прикладні дослідження й розробки.

Фундаментальні дослідження спрямовані на відкриття чи вивчення нових явищ і законів природи, на створення нових принципів дослідження.

Прикладні дослідження спрямовані на пошук способів використання законів природи для створення нових і вдосконалення існуючих засобів і способів людської діяльності.

Прикладні дослідження поділяють на такі:

– пошукові;

– науково-дослідні роботи;

– дослідно-конструкторські роботи.

Пошукові дослідження спрямовані на встановлення факторів, що впливають на об'єкт, пошук шляхів створення нових технологій і техніки на основі способів, запропонованих унаслідок фундаментальних досліджень.

Науково-дослідні роботи спрямовані на створення нових технологій, установок, приладів, визначення логічної основи їхніх конструкцій і добору конструктивних характеристик.

Дослідно-конструкторська робота передбачає доведення результатів прикладної науково-дослідної роботи до умов промислового освоєння і включає виконання в необхідному обсязі проектної й робочої конструкторської документації, дослідну перевірку прийнятих технічних рішень і відпрацьовування цих рішень відповідно до потреб виробництва і сфери споживання (експлуатації).

Найважливішою відмінною рисою фундаментальних і прикладних досліджень є факт одержання нової наукової й науково-технічної інформації. Цілеспрямований процес перетворення такої інформації на форму, придатну для освоєння у промисловості, називають ***розробкою***. Кінцевою метою розробки є підготовка до впровадження у практику.

Залежно від джерела фінансування наукові дослідження поділяють на держбюджетні, госпдоговірні й нефінансовані. ***Держбюджетні дослідження*** фінансуються за кошти державного бюджету. ***Госпдоговірні*** фінансуються організаціями-замовниками на основі господарських договорів. ***Нефінансовані*** дослідження виконуються з ініціативи авторів угоди неформальних організацій чи об'єднань.

За тривалістю проведення виокремлюють ***короткочасні*** (до 1 року), ***середньої тривалості*** (від 1 до 3 років), ***довгострокові*** (понад 3 роки) дослідження.

Загалом наукове дослідження становить послідовність виконання таких операцій:

– постановка, формулювання, обґрунтування наукової проблеми;

– виявлення фактів дійсності, їхнє пояснення й узагальнення (одержання фактичного матеріалу про об'єкт дослідження);

– висування робочих гіпотез або гіпотези;

– обґрунтування й підтвердження істинності гіпотези;

– побудова теорії;

– інтерпритація, практична перевірка теоретичних положень, визначення шляхів практичного застосування теорії.

У процесі проведення наукового дослідження використовуються різні типи людської діяльності: пошук, побудова, реконструкція, проектування, перетворення. Сукупність знань про зміст процесу наукового дослідження називають його технологією. ***Технологія*** *(гр. tehne – мистецтво, майстерність + logos – навчання, наука, поняття)* – це сукупність знань, способів, прийомів, методик, розміщених у визначеній послідовності, відповідно до яких досягається поставлена мета цього дослідження за допомогою певних засобів**.**

Графічне зображення технології називається ***технологічною схемою*** (рис. 1.1).

Рисунок 1.1 – Технологічна схема наукового дослідження з двома головними завданнями

Вибір найкращого виду або способу проведення наукового дослідження здійснюють на основі показників його ефективності:

– витрат часу;

– витрат матеріальних і трудових ресурсів;
– собівартості результатів нууково-дослідницьких робіт;
– рівня автоматизації дослідницьких робіт;
– енергоємності процесу досліджень тощо.

1.5 Методологія, методи та засоби наукових досліджень

Рух думки від незнання до знання керується методологією.

Методологія – філософське вчення про методи пізнання й перетворення дійсності, застосування принципів світогляду до процесу пізнання, духовної творчості та практики. Методологія обґрунтовує правила застосування світогляду до процесу пізнання й визначає підхід до явищ дійсності.

У широкому сенсі методологію можна розуміти як вчення про методи або як сукупність методів.

Методологія науки – це сфера науки, що вивчає загальні й окремі методи наукових досліджень, а також принципи підходу до різних типів об'єктів дійсності й різних класів наукових завдань.

Головна мета методології науки – вивчення й аналіз методів, засобів, прийомів, за допомогою яких здобуваються нові знаня в науці як на емпіричному, так і теоретичному рівні пізнання.

Методологія в науці виконує координуючу, інтегруючу й евристичну функції. ***Координуюча функція*** передбачає координацію й субординацію методів дослідження. ***Інтегруюча функція*** передбачає об'єднання методів дослідження й наук у цілому. Як наслідок виникають синтетичні науки, наприклад, кібернетика. ***Евристична функція*** означає, що загальна методологія сприяє набуттю нових знань, скеровує зусилля вчених у сферу невідомого.

Метод – це спосіб досягнення мети.

Науковий метод – це система регулятивних принципів і прийомів, за допомогою яких досягається об'єктивне пізнання дійсності.

Методика – це послідовність розумових і фізичних операцій, відповідно до яких досягається мета дослідження в межах цього методу.

Із філософської точки зору методи дослідження поділяють на чотири групи: загальні, загальнонаукові, окремі (для визначеної групи наук), спеціальні (для певної науки) (рис. 1.2).

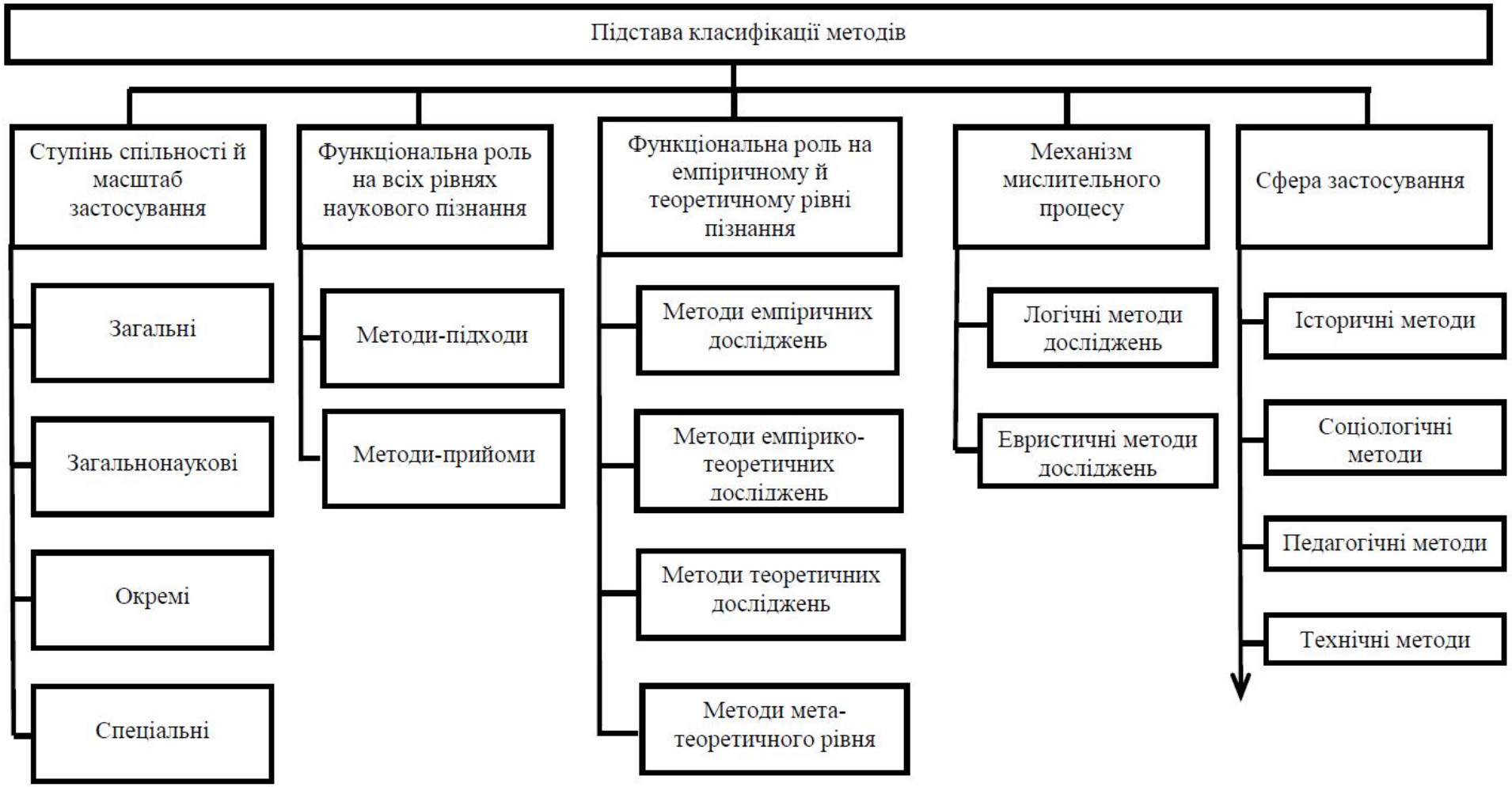

Рисунок 1.2 – Класифікаційна схема методів наукових досліджень

До загальних методів належать такі:

– універсального взаємозв'язку;

– діалектичного протиріччя;

– єдності якості й кількості;

– діалектичного заперечення.

Із філософської точки зору загальні методи розглядаються як методологічні принципи.

Згідно з методом ***універсального взаємозв'язку*** для того, щоб уникнути однобічності в дослідженні об'єкта, необхідно врахувати всі суттєві боки і зв'язки предмета. Цей метод дозволяє уникати таких крайностей, як софістика, заснована на вихоплюванні окремого аспекту предмета, не залежно від його сутності, й еклектика, заснована на поєднанні множини різнорідних, внутрішньо непов'язаних між собою характеристик предмета.

Метод ***діалектичного протиріччя*** заснований на законі єдності й боротьби протилежностей. Діалектичне протиріччя полягає в тому, що між сторонами предмета є не тільки протилежність, взаємне виключення, але й єдність. При чому ця єдність протилежностей полягає не тільки й не стільки у їх втіленні в тому самому предметі, а в тому, що вони взаємоприпускають одне в одне, можуть перетворюватися одне на друге.

У науковому дослідженні формулювання діалектичного протиріччя між досліджуваними сторонами предмета, тобто виявленні протилежних, взаємовиключних сторін і виявлення такого відношення (зв'язку чи форми), у якому вони виявляються єдиними, означає здебільшого вирішення тієї чи іншої наукової проблеми.

Метод ***єдності якості й кількості*** розкриває зв'язок між кількісною та якісною визначеністю. Із методологічної точки зору зв'язок між якістю й кількістю означає, що кожне явище, процес тощо, які становлять предмет дослідження, мають вивчатися не лише якісно, а й з точки зору кількісної визначеності, тобто математично. Закон переходу кількісних змін у якісні лежить в основі універсального застосування кількісних математичних методів дослідження.

Розглянутий метод має й той зміст, що кількісному підходу передує як основа якісний аналіз предмета. Якісний аналіз у визначеному змісті первинний, а кількісний – вторинний.

Метод ***діалектичного заперечення (закон заперечення заперечення)*** полягає в необхідності дотримання послідовності при переході від старого до нового, від попереднього до наступного. Попереднє заперечується не абсолютно, а відносно, не у всіх, а лише у визначених аспектах. Саме це забезпечує спіральний характер розвитку наук.

До ***загальнонаукових методів*** відносять: спостереження, порівняння, розрахунок, вимірювання, узагальнення, абстрагування, формалізацію, аналіз і

синтез, індукцію й дедукцію, аналогію, моделювання, ідеалізацію, конкретизацію, а також аксіоматичний, гіпотетичний, історичний і системний методи.

Спостереження – це спосіб пізнання об'єктивного світу, заснований на безпосередньому сприйнятті предметів і явищ за допомогою органів чуття без втручання у досліджуваний процес.

Порівняння – встановлення розходжень між об'єктами матеріального світу або пошук у них загального, що здійснюється як за допомогою органів чуття, так і за допомогою спеціальних пристроїв.

Розрахунок – пошук числа, яке визначає кількісне співвідношення однотипних об'єктів чи їхніх параметрів, що характеризують ті чи інші властивості.

Вимірювання – це фізичний процес визначення чисельного значення певної величини за шляхом її порівняння з еталоном.

Експеримент – одна зі сфер людської практики, у якій піддається перевірці істинність висунутих гіпотез або виявляються закономірності об'єктивного світу. Експеримент припускає втручання у процес, який досліджується.

Узагальнення – визначення загального поняття, у якому знаходить відображується головне, основне, що характеризує об'єкти певного класу.

Абстрагування – це уявне відволікання від неістотних властивостей, зв'язків, відносин предметів і виділення декількох аспектів, якими цікавиться дослідник.

Конкретизація – процес руху думки від одиничного до особливого, від особливого до загального, а від загального до особливого й одиничного. Конкретизація припускає побудову логічного класифікатора понять і властивостей досліджуваного об'єкта у вигляді «дерева». Таке «дерево» дозволяє визначити й відокремити властивість, яку шукають, від властивості, що примикає, встановити ієрархію цілей дослідження, підкоряючи їх загальній меті.

Формалізація – відображення предмета чи явища у знаковій формі певної штучної мови (математики, хімії) і забезпечення можливості дослідження реальних об'єктів і їхніх властивостей через формальне дослідження відповідних знаків.

Аксіоматичний метод – спосіб побудови наукової теорії, за якого деякі твердження (аксіоми) приймають без доведення і потім використовують для одержання інших знань за визначеними логічними правилами.

Аналіз – метод пізнання за допомогою розчленовування чи розкладання предметів дослідження на складники.

Синтез – з'єднання окремих сторін предмета в єдине ціле.

Індукція – умовивід від фактів до певного загального твердження.

Дедукція – умовивід, у якому висновок щодо окремого елемента робиться на підставі знання загальних властивостей усієї безлічі.

Одним із методів наукового дослідження є ***аналогія***, за допомогою якої досягається знання про предмети чи явища на підставі того, що вони подібні до інших.

Гіпотетичний метод дослідження припускає розробку наукової гіпотези, її формулювання, складання моделі явища, вивчення й аналіз останньої.

При вивченні об'єкта (явища) за допомогою гіпотетичного методу дослідник часто вдається до ***ідеалізації*** (способу уявного конструювання практично нездійсненних об'єктів). Унаслідок ідеалізації реальні об'єкти позбавляються певних, характерних для них властивостей і наділяються гіпотетичними (наприклад, ідеальний газ, абсолютно тверде тіло тощо).

Історичний метод – припускає вивчення виникнення, формування й розвитку об'єктів у хронологічній послідовності.

Різноманітні методи наукового пізнання умовно поділяють на низку рівнів: емпіричний, експериментально-теоретичний, теоретичний і мета теоретичний (рис. 1.2).

На ***емпіричному рівні*** використовують спостереження, порівняння, розрахунок, вимірювання, анкетне опитування, співбесіду, тести, метод проб і помилок.

На ***експериментально-теоретичному рівні*** використовують експеримент, аналіз і синтез, індукцію й дедукцію, моделювання, гіпотетичний, історичний і логічний методи.

На ***теоретичному рівні*** виконують логічне дослідження зібраних фактів, розробляють поняття, судження, роблять умовиводи. Широко використовують абстрагування, ідеалізацію, формалізацію, синтез, індукцію й дедукцію, аксіоматику, узагальнення, логічні методи подібності, розходження, супровідні зміни й ін. Особливе місце у структурі методів теоретичного рівня посідають аналітичні методи. В основі аналітичних методів лежить формалізація, що дозволяє одержати математичну модель об'єкта (явища). Аналітичні методи дозволяють установити доволі точні кількісні співвідношення між аргументами та функціями, глибоко проаналізувати досліджувані явища.

До методів ***метатеоретичного рівня*** відносять діалектичний метод і метод системного аналізу. За допомогою цих методів досліджують самі теорії й розробляють способи їхньої побудови, вивчають систему положень і понять цієї теорії, встановлюють межі її застосування, способи введення нових понять, обґрунтовують способи синтезування кількох теорій.

Залежно від функціональної ролі на всіх рівнях наукового пізнання методи поділяють на такі:

– ***методи підходи*** – дають загальне уявлення про підходи до дослідження явищ, процесів і об'єктів;

– ***методи прийоми*** – озброюють конкретними прийомами дослідження.

До методів підходів віднеосять:

– ***системний підхід*** (розгляд елементів, їхніх функцій, зв'язків між елементами як єдиного цілого);

– ***структурний підхід*** (припускає пізнання структури, внутрішніх зв'язків компонентів цілісної системи);

– ***функціональний підхід*** (ґрунтується на тому, що досліджуваний об'єкт розглядається як комплекс функцій, які він виконує або має виконувати);

– ***комплексний підхід*** (підхід, що передбачає одночасне урахування всіх аспектів, особливостей і фактів, які прямо або побічно впливають на вирішення проблеми, але не виходячи безпосередньо з ідей їхньої взаємопов'язаної єдиної цілісності);

– ***натурний підхід*** (полягає в безпосередньому вивченні досліджуваного явища, у природних умовах його існування);

– ***модельний підхід*** (становить опосредоване пізнання, коли через різні обставини досліджується не сам об'єкт, а інший природний або штучний, матеріальний або ідеальний, який дозволяє у визначених відносинах замінити реальний об'єкт і одержати про нього нові знання).

Залежно від механізму розумового процесу методи поділяють на:

– ***логічні методи дослідження***, які ґрунтуються на правилах формальної й діалектичної логіки. До цієї групи належать загальні методи, загальнонаукові методи теоретичного й частково емпіричного рівня.

– ***евристичні методи дослідження***. Під евристичними методами розуміють прийоми пізнання, що не мають готового алгоритму, а засновані на психологічних механізмах. Евристика в перекладі з грецької означає «відшукати», «відкрити». До еврестичних методів належать: інтуїція, методи індивідуального стимулювання творчого процесу (уявний експеримент, суперечка з уявним аппонентом, «мозковий штурм», «метод експертних оцінок»).

Методи поділяють залежно від сфери їхнього застосування: історичні, соціологічні, педогагічні, технічні тощо.

2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ І ТВОРЧОСТІ

2.1 Формування й аналіз проблеми

Проблема (гр. *problema* – завдання) – це сукупність складних теоретичних і практичних завдань, потреба у вирішенні яких виникла в суспільстві. Із соціально-психологічних позицій проблема – це відображення протиріччя між суспільною потребою у знанні й відомими способами її вирішення, протиріччя між знанням і незнанням. Проблема виникає тоді, коли людська практика натрапляє на труднощі чи навіть наштовхується на «неможливість» досягнення мети.

Проблема може бути глобальною, національною, регіональною, галузевою, міжгалузевою, що залежить від масштабу виникаючих завдань. Наприклад, проблема охорони природи є глобальною, оскільки її вирішення спрямоване на задовольняння загальнолюдських потреб.

Крім зазначених, розрізняють проблеми загальні та специфічні. До ***загальних проблем*** належать загальнонаукові, загальнонародні тощо. ***Специфічні проблеми*** властиві визначеним виробництвам тієї чи іншої галузі.

Складником проблеми є тема наукового дослідження. Завдяки дослідженням за темою одержують відповіді на визначене коло наукових питань, що охоплюють частину проблеми. Узагальнення результатів відповідей за комплексом тем може надати вирішення наукової проблеми.

Вибір проблеми, теми наукового дослідження й визначення наукових завдань – результат вивчення стану виробничих питань, суспільних потреб і способів їхнього задовольняння, а також стану дослідження в тому чи іншому напрямку на певному відрізку часу.

У науковому дослідженні встановлення протиріччя між суспільною потребою й відомими способами її задовольняння рівнозначне формулюванню проблеми. Тому вихідним моментом наукового дослідження є вивчення суспільних потреб і умов їхнього задовольняння.

Потреба – вираження об’єктивної необхідності для людини, технічної чи соціальної системи забезпечити своє нормальне існування й розвиток. Під ***нормальним*** існуванням розуміють проходження всіх процесів у системі з найбільш можливою злагодженістю, надійністю, економічністю й ефективністю. ***Нормальне існування*** – це краще і найбільш адекватне з реально можливих станів, які найбільше відповідають визначеним умовам і завданням функціонування системи. Отже, нормальне існування адекватне поняттю функціонального оптимуму системи. Тому оптимальний режим функціонування системи і є нормальним.

Існування потреби викликане відхиленням стану системи від оптимального. Тому для кількісної характеристики потреби можна скористатися формулою:

$$П = X - X_н, \tag{2.1}$$

де $П$ – кількісна характеристика потреби; X, $X_н$ – кількісні характеристики фактичного й нормального стану системи.

Зміна умов і завдань функціонування призводить до зміни кількісної характеристики нормального стану системи, тобто величини $X_н$. Тому норма стану – це не точка на шкалі станів, а певний діапазон, зона зміни стану, у межах якої зберігається оптимальне у цих конкретних умовах функціонування системи. У зоні норми суттєві характеристики системи можуть варіюватися і прийматися різні оптимальні значення відповідно до впливу факторів зовнішнього і внутрішнього середовища.

Діапазон норми має верхню й нижню межі, вихід за межі яких призводить до втрати адаптаційних здібностей системи. Межі норми генетично детерміновані.

Отже, величина потреби залежить як від зміни фактичного стану системи, так і від зміни її норми.

Наявність верхньої й нижньої межі діапазону норми визначає верхній і нижній рівні потреб. Стосовно суспільних потреб верхній рівень характеризує потенційні можливості споживачів і не обмежені досягнутим сьогодні рівнем виробництва.

За нижній рівень потреб приймають мінімум засобів існування, що забезпечує життєдіяльність споживачів у певних історичних умовах.

2.2 Пошук, накопичення й обробка науково-технічної інформації

Установлення протиріччя між суспільною потребою й можливістю її задовольняння в сучасних і майбутніх соціально-економічних умовах неможливе без вивчення існуючих вирішень. Останнє дозволяє відповісти на низку запитань, що сприяють перетворенню спочатку розпливчатого формулювання проблеми, теми і завдань на чітке, визначене і точне. Чим точніше і швидше формулюється наукове завдання, тим швидше воно вирішується.

Інформацію про наявні вирішення можна отримати за допомогою вивчення наукових документів і знань, патентної документації, копій звітів про НДР, дисертацій, описів алгоритмів і програм, бібліографічних покажчиків тощо.

Процес ознайомлення з джерелами необхідно починати з універсальних і спеціальних енциклопедій, словників, довідників. Вивчення цих джерел дозволяє досліднику уточнити основні поняття і подати їхнє визначення. Нехтування цим етапом дослідницької роботи ускладнює обробку науково-технічної інформації й чітке формулювання завдань дослідження.

Ознайомлення з літературними джерелами має супроводжуватися уважним переглядом списків літератури, що знаходяться наприкінці книг, статей тощо. Із цих списків виявляють нові джерела.

Роботу з джерелами починають з їхнього швидкого перегляду й ознайомлення з назвою розділів.

При конспектуванні тексту джерела необхідно своїми словами стисло відбивати думки автора. Максимально точно записувати формули, схеми, визначення.

Вивчення відомих вирішень за обраною темою здійснюють у визначеному порядку. Спочатку виявляють усі відомі розв'язання цього чи подібного питання, а потім кожне з вирішень піддають ретельному аналізу методом розчленовування складного на складники для визначення всіх недоліків чи переваг кожного окремо.

Так, автомобіль включає двигун, кузов, трансмісію, органи керування й ін. Кожна частина автомобіля складається з кількох вузлів. Трансмісія автомобіля, наприклад, включає зчеплення, коробку передач, карданний вал. Кожен вузол, у свою чергу, складається з деталей.

Дуже часто можна помітити при вивченні декількох вирішень, що недоліки одного відсутні у другому, а недоліки другого вирішення відсутні в першому. Потрібно сформулювати завдання та одержати розв'язання, що не має недоліків а ні першого, а ні другого з вирішень.

Результати вивчення існуючих вирішень і виявлення їхніх переваг і недоліків рекомендується оформлюваяти у вигляді таблиць, що полегшує творчий процес і прискорює втілення задуму. У таблицях відзначають те, що потрібно врахувати, запозичити з існуючих вирішень те, що треба виключити, щоб уникнути недоліків у новому вирішенні.

При вивченні наявних вирішень (літературних джерел) слід орієнтуватися на новіші, оскільки вони здебільшого виключають недоліки попередніх. Але варто пам'ятати, що деякі позитивні якості можна запозичити в технічних або наукових вирішеннях, які не застосовуються зараз.

У процесі вивчення наявних вирішень слід прагнути переформулювати вихідне завдання таким чином, щоб воно стало більш узагальненим.

Наприклад, якщо в першому формулюванні стояло запитання: «Як поліпшити зачищення ізоляції на кінцях електропроводу?», тоді в більш узагальненій формі це завдання перетвориться у такий спосіб: «Як зачистити ізоляцію на кінцях електропроводу?». Перетворення раніше сформульованого

завдання дуже часто полегшує розв’язання, тоді як до цього воно залишалося непосильним для вирішення.

Аналіз наявних вирішень має супроводжуватися оцінкою їхньої економічної й соціальної ефективності, що дозволяє встановити не тільки позитивні якості вирішення, але й відповісти на запитання, яку ціну сплачено за отриманий ефект.

Вивчення літературних джерел має супроводжуватися розглядом практики. Часто гарне технічне вирішення, описане в літературі, може виявитися не прийнятним на практиці. Так, недоврахування людського фактора нерідко призводить до того, що конструкції й технології, самі по собі цілком раціональні, на практиці не приживаються – немає підготовлених кадрів, рівень їхньої технічної культури є недостатнім тощо. Не менш важливо зустрічатися з керівниками, фахівцями, робітниками, пов’язаними з предметом дослідження. Ці зустрічі дають більш чітке уявлення про переваги й недоліки існуючих вирішень.

Якщо літературні джерела не дають чіткого опису вирішення, тоді його уточнення може здійснюватися за допомогою особистих контактів із авторами чи переписки з ними. Звичайно, не менше чверті інформації, що добувається, дослідник черпає з безпосередніх контактів зі своїми колегами.

Зібраний матеріал дослідник піддає попередній обробці, що включає низку стадій:

1) систематизація матеріалу;

2) виключення дублюючого матеріалу чи матеріалу, що не вкладається в межі теми дослідження;

3) складання допоміжних покажчиків і списку пророблено літератури;

4) аналіз інформації, виділення оригінальних концепцій, оцінка вірогідності інформації;

5) узагальнення зібраної інформації й підбиття підсумків проведеної роботи.

Результати збирання й обробки інформації оформлюють у вигляді наукового реферату чи огляду.

Науковий огляд містить такі елементи: вступна частина, аналітична частина, висновки.

У вступі огляду обґрунтовують вибір теми з зазначенням актуальності та значення питання. Аналітична частина містить огляд літературних джерел, відомості про стан розглянутих і невирішених питань, переваги й недоліки існуючих вирішень, аналіз використаних методів і засобів досліджень. Висновки включають мету й завдання подальших досліджень.

2.3 Структура і психологічна специфіка творчого процесу

Творчість – мислення в його вищій формі, що виходить за межі відомого, а також діяльність, що породжує щось якісно нове. Останнє містить у собі постановку завдань, пошук умов і способів їх вирішення та створення нового. Творчість може мати місце в будь-якій сфері діяльності людини.

Наукова творчість пов'язана з пізнанням навколишнього світу.

Науково-технічна творчість (чи просто технічна) має прикладні цілі й спрямована на задоволення практичних потреб людини. Під цим розуміють пошук і вирішення завдань у сфері техніки на основі використання досягнень науки.

Творча діяльність стимулюється біологічними, соціальними та ідеальними потребами людини. Для наукової творчості найважливішими є ідеальні потреби, такі як потреба в новій психологічній інформації.

Творчий процес у науковій роботі – це створення представлень уяви, тобто нових комбінацій з відомих понять і образів.

У складному механізмі творчого мислення мають місце як інтуїція, так і логіка. Загальною рисою усіх видів творчості є формування представлень. ***Представлення*** це вторинний чуйний образ предмету або явища, що в даний момент не діє на органи сприйняття, але обов'язково діяв у минулому. Нове уявлення формується на фоні вже існуючого, вихідного представлення. Це вихідне представлення може бути дуже загальним і розмитим, його присутність не усвідомлюється суб'єктом творчості. Разом з цим формування нового уявлення є конкретизацією вихідного. Повторення і деталізація – головні прийоми конкретизації фонового представлення.

Мозкові механізми творчого процесу можна представити таким чином: на початку творчого процесу відбувається «огляд» кори головного мозку і пошук аналогій для екстраполяцій у необхідну сферу. Через те, що систематичний огляд продовжувався б нескінченно, ці пошуки здійснюються способом «проб і помилок». При цьому частина кори головного мозку, де здійснюється пошук, захищається від нової інформації, що приходить ззовні. Пошук може бути одночасно й усвідомленим, але у тому чи іншому випадках відбуваються нейрофізіологічні зміни, а також зміни складу крові, її тиску та ін.

Якщо готова модель не проявляється, тоді в центральній нервовій системі формується принципово нова модель. Створення цієї нової моделі здійснюється в стрибкоподібній формі, і це є власне творчим актом. ***Творчий акт*** є результатом деструктивної і конструктивної діяльності мозку.

Відсутність необхідної моделі призводить до включення деструктивних сил, мозок як би очищає поле для досягнення творчої мети. При цьому спрацьовує ***принцип необхідного руйнування старого детермінізму***. На основі деструктивної діяльності мозку людина пізнає міру піддатливості

навколишнього світу і знаходить принципи, на яких можливе об'єднання різних понять, образів та ін. Визначення цих принципів є основою творчого акта, першим кроком у вирішенні поставленого завдання. Потім настає інтегративний період, що супроводжується потоком ідей, «альтернативними вирішеннями». Цей період називають моментом інсайту. ***Інсайт*** полягає в усвідомленні чогось, що спливло з глибин підсвідомості, у схоплюванні елементів ситуації, у тих зв'язках і відносинах, що забезпечують вирішення завдань. Необхідною умовою виникнення інсайту є наявність ***інтуїції*** дослідника. Наукова психологія розглядає інтуїцію як необхідний, внутрішньо обумовлений природою творчості момент виходу за межі стереотипів поведінки, що склалися.

Отримані ідеї й вирішення піддаються перевірці, критичному аналізу, оцінці. Ідеї, що виникли в стані інсайт, гальмуються зовнішніми реальностями. Тому без критичного аналізу інсайт не може дати чого-небудь значнішого, соціально цінного.

Початковий етап творчого процесу (пошук наявних ідей за аналогією) носить характер систематичного мислення. Процес обмірковування завдання методичний, повільний. Оригінальні вирішення тут виникають на основі прямого досвіду дослідника.

Систематичне мислення часто виникає в ситуаціях, коли плани можуть бути сформульовані обдумано, де кількість варіантів і гіпотез не дуже велика. Інсайт і систематичне мислення є крайніми полюсами шкали різних факторів, що впливають на творчий процес.

Варто зазначити, що чіткого розподілу творчого процесу на етапи немає. Творчість – це єдина діяльність психіки, що включає всі її моменти. Але питома вага систематичного мислення чи інсайту у різних дослідників різна. Тому виразність того чи іншого моменту (етапу) творчого процесу в дослідників дозволяє виокремити два рівні творчості:

1. Нижчий, що полягає у використанні відомих зведень у новій галузі аналогії.

2. Вищий, що полягає у створенні принципово нових представлень, які змінюють відому систему поглядів.

Нижчий рівень творчості часто зводиться до пристосування відомих вирішень, до вирішення власного завдання. Сенс пристосування можна звести до активного освоєння «чужої» науки. Людина оволодіває «чужим», засвоює його для себе та їй здається, що це «чуже» уперше виникло саме у неї, як продукт його власної творчості.

Вищий рівень характеризується оригінальністю, своєрідним баченням об'єкта дослідження. Тут уже все своє, настає момент формування власного розуміння предмета чи явища, заглиблення в його структуру.

У нашій країні вирішення у сфері науково-технічної творчості залежно від їхньої форми та рівня поділяють на три категорії: відкриття, винаходи, раціоналізаторські пропозиції.

Відкриття – це встановлення невідомих раніше об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей і явищ матеріального світу, що вносять корінну зміну в рівень пізнання.

Винахід – нове й те, що володіє істотними відмінностями, технічне вирішення завдання в будь-якій сфері народного господарства, соціально-культурного будівництва чи оборони країни, яке дає позитивний ефект.

Раціоналізаторські пропозиції – це технічне вирішення, що є новим і корисним для підприємства, організації чи установи, якій воно подано, і що передбачає зміну технології виробництва чи конструкції виробів, застосовуваної техніки чи складу матеріалу.

2.4 Вибір стратегії й тактики пошуку вирішення проблемних завдань

З***апозичення в природи*** принципів дії, поведінки тощо, їхнє використання в технічній творчості – один з можливих напрямків вирішення проблемного завдання. Наприклад, авіаінженеру Г. М. Баликову спостереження за злетом з води качки підказали вирішення проблеми злету гідроплана. Виявилося, що при злеті качка використовує «чотири крила». Два з них створюють підйомну силу, необхідну для злету, а два інших, спираючись на повітря, – тягу. Варто зрізати перетинки на лапках, і качка не зможе злетіти.

Не менш важливим у пошуку способів вирішення завдання є знайомство з різними процесами: хімічними, фізичними, біологічними, електричними, а також відвідування виставок, технічних музеїв тощо. Аналіз способів вирішення аналогічних проблем у минулому може наштовхнути дослідника на думку про спосіб вирішення завдання. ***Заперечення заперечень, використання раніше відкинутих чи невикористаних принципів*** – другий шлях вирішення проблеми.

Невичерпним джерелом ідей є фантастична література. ***Читання фантастичної літератури*** і навіть казок часто наштовхує дослідника на ідею.

Знаменитий капітан Немо Жюля Верна використовував натрієві батареї для освітлення підводного човна «Наутілус». Зараз у лабораторіях США створені джерела струму, що виробляють електроенергію на основі взаємодії чистого натрію з дистильованою водою.

У практиці вирішення творчих завдань може застосовуватися ***принцип «дикого» експерименту***, тобто ***випадкового пошуку***. Випадок дав змогу створити багато технологій, машин, механізмів. Наприклад, Річардсон перекинув перекис водню на гусяче перо і таким чином випадково винайшов спосіб знебарвлення волосся. Французький фізик Антуан Бекерель випадково

відкрив радіоактивність після того, як знайшов засвічену фотопластинку, що знаходилася в одній касеті з урановою сіллю.

В одній хімічній лабораторії у 1838 році поспіхом упустили на гарячу піч каучук і сірку. Каучук, поєднавшись із сіркою, став надзвичайно еластичним. У такий спосіб була винайдена гума. У 1973 році при установленні динамо-машини електромонтер переплутав проводи, і машина заробила як двигун.

У практиці використання методу випадкового пошуку найважливішим елементом є визначення у випадковості необхідності. Важливо побачити у випадковому вирішенні те, що шукаєш. Потрібно постійно тримати в голові предмет свого дослідження і *«терпляче чекати, поки перший проблиск поступово і потрохи не перетвориться на повне і блискуче світло»*, як – говорив Ісак Ньютон. Досить хоча б трохи послабити увагу до досліджуваних фактів і можна пройти повз вирішення завдання, яке шукають.

Модифікацією випадкового пошуку в технічних дослідженнях є ***метод проб і помилок***. Застосування методу зводиться до перебирання й порівняння за визначеними показниками можливих варіантів вирішення проблемного завдання. Але обидва методи вкрай неефективні, оскільки вимагають величезної кількості часу й енергії. Як наслідок можна нічого не досягти, якщо не допоможе щаслива випадковість.

Вибір напрямку дослідження припускає упорядкування цілей, формування основної стратегії пошуку.

Термін ***«стратегія пошуку»*** використовується у значенні певної послідовності дій з метою вирішення поставленого проблемного завдання. Пошук проходить у часі, його характерною рисою є розподіл на окремі послідовні операції. Керуючись метою, визначають найближчий відрізок шляху, вирішують, що треба зробити на цьому відрізку. Відповідь на запитання, що треба зробити, є основою поняття «завдання». Після його проведення виконують оцінку результатів. Якщо оцінка негативна, тоді виконання завдання повторюють. Якщо ж оцінка позитивна, тоді виконують наступне завдання, що наближає дослідника до кінцевої мети.

Стратегія пошуку може бути жорстко визначена від самого початку до кінця дослідження або змінюватися залежно від результатів виконання попередніх дій.

Стратегії пошуку класифікують за двома ознаками: ступенем заданості та схемою пошуку. Заздалегідь задані (готові) стратегії жорстко фіксуються подібно програмам ЕОМ. ***Задана стратегія*** зазвичай складається з ланцюжка послідовних дій, у якому кожна дія залежить від результату попередньої, але не залежить від результатів наступних дій (рис. 2.1, *а*). Якщо після отримання результатів на одному з етапів дослідження доводиться повертатися до одного з попередніх етапів, то таку стратегію називають ***циклічною*** (рис. 2.1, *б*).

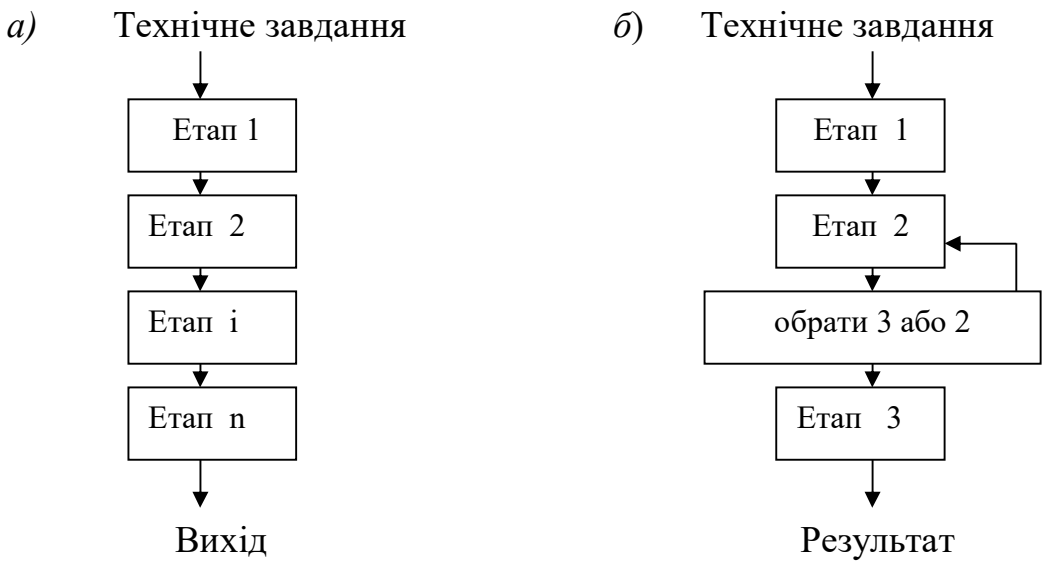

Рисунок 2.1 – Стратегії, побудовані за лінійним принципом:
а) лінійна стратегія; *б)* циклічна стратегія

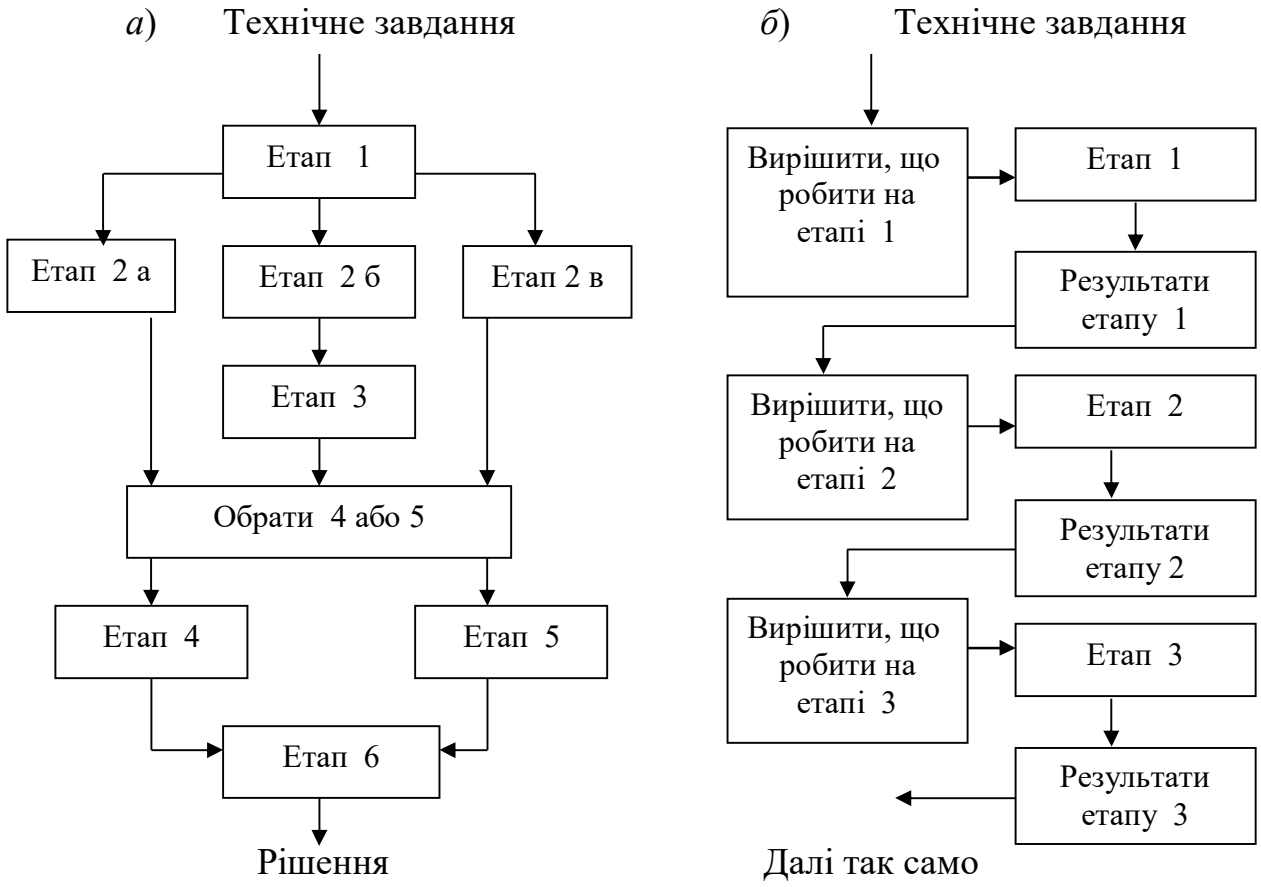

Рисунок 2.2 – Стратегії з неоднозначною послідовністю дій:
а) розгалужена стратегія; *б)* адаптивна стратегія

Коли дії дослідника не залежать одна від іншої, може мати місце ***розгалужена стратегія*** (рис. 2.2, *а*). Якщо із самого початку визначають тільки першу дію, а вибір наступної залежить від результатів попередньої, то таку стратегію називають ***адаптивною*** (рис. 2.2, *б*).

Варіантом стратегії адаптивного пошуку є ***стратегія збільшень***. Пошук методом збільшень передбачає послідовну зміну за однією змінною на кожному кроці пошуку (рис. 2.3).

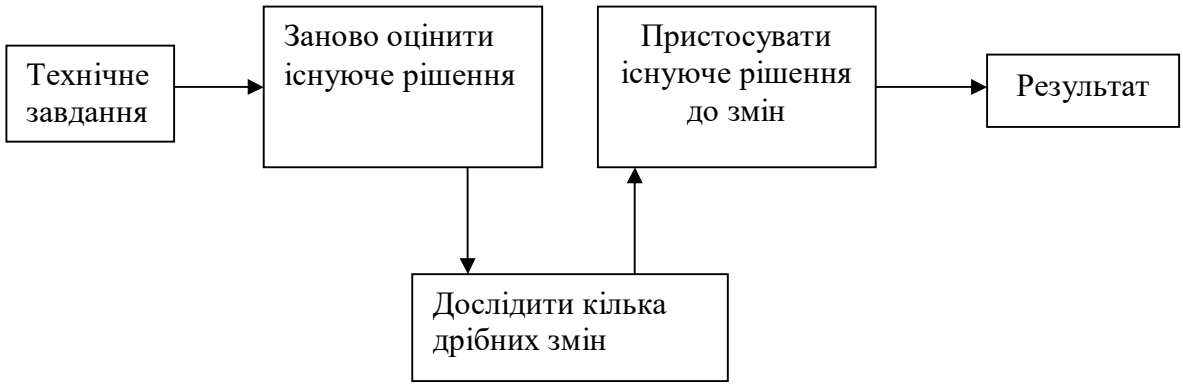

Рисунок 2.3 – Стратегія збільшень

У деяких випадках використовують ***стратегію випадкового пошуку***. Згідно з цією стратегією при виборі кожного етапу свідомо не враховують результати інших етапів, що додає пошуку неупереджений характер (рис. 2.4).

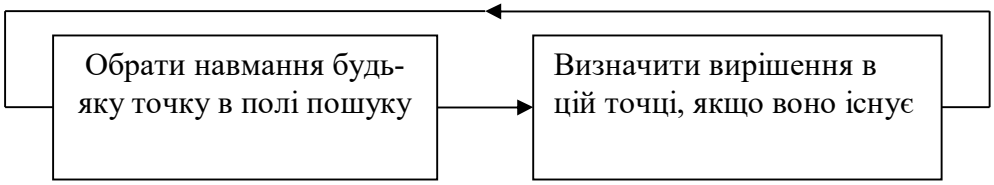

Рисунок 2.4 – Стратегія випадкового пошуку

Вибір стратегії пошуку здійснюють на основі зовнішніх критеріїв і проміжних результатів. Стратегія зберігається доти, доки вона залишається перспективною за зовнішніми критеріями.

2.5 Формування ідей

Будь-яка творча ідея виділяється з великого числа менш значимих ідей. Процес, за допомогою якого це досягається, називається ***формуванням ідей.*** Чим складніше проблема, тим більшу кількість альтернатив приходиться розглядати, щоб знайти вирішення. Статистика показує, що для створення

одного виробу, що користається великим попитом і здатного приносити прибуток, необхідно мати 50–60 гарних ідей. Для формування такої кількості ідей потрібно старанність, творча уява і внутрішня дисципліна.

Направити уяву у творче русло можна шляхом спеціальних методів, що одержали найменування ***методів «генерування ідей».***

У системі методів генерування ідей виділяють такі групи: *застосування евристичних функцій аналогії та інверсії; застосування евристичної функції асоціації; застосування евристичних функцій аналізу і синтезу; застосування евристичних функцій абстрагування і конкретизації; колективного генерування ідей.*

Інверсія є способом одержання нової точки зору. Відповідно до цього способу, якщо деякий об'єкт звичайно розглядається зовні, тоді інверсія означає, що тепер він буде досліджений зсередини. Якщо в розглянутому пристрої деяка деталь завжди розташовується вертикально, тоді інверсія означає, що її ставлять у горизонтальне положення чи поміщають під деяким кутом. Інверсія – це вивертання навиворіт. Евриємами (прийомами активізації) інверсії є: звертання, компенсація, реверсування, антитезис, інверсія точки зору та ін.

Аналогія – це спосіб одержання ідей шляхом установлення подібних рис у різних об'єктах і явищах природи. Наслідування лежить в основі аналогії.

На практиці використовують в основному чотири види аналогії: пряма, символічна, особиста, фантастична.

При ***прямій аналогії*** розглянутий об'єкт порівнюють з більш-менш схожим з іншої галузі техніки чи природи.

Символічна аналогія вимагає формулювання у парадоксальній формі сутності явищ чи понять. Наприклад, міцність – примусова цілісність.

Особиста аналогія (емпатія) – ототожнення себе з досліджуваним об'єктом. Потрібно вжитися в образ об'єкта, який удосконалюють, з метою з'ясування виникаючих при цьому відчуттів, тобто «відчути» завдання.

Фантастична аналогія припускає введення в об'єкт дослідження яких-небудь фантастичних засобів (з літератури, казок), що виконують задану функцію.

Евриємами аналогії є: імітація, гіперболізація, мініатюризація, заміщення, протезування, формалізація тощо.

Дуже ефективними методом активізації творчого мислення є використання асоціацій, метафор і понять, ознаки яких переносять на досліджуваний об'єкт.

Асоціація, чи зв'язок ідей, – це явище, яке полягає в тому, що людина, спостерігаючи, слухаючи, пробуючи на смак чи сприймаючи щось, одночасно уявляє собі щось інше, подібне з безпосередньо сприйманим.

Для виникнення асоціацій використовують різні метафори, що служать для знаходження винахідницьких ідей. З метою окреслення простору пошуку ідей і підвищення ступеня їхньої оригінальності використовують гірлянди асоціацій (метафор). Якщо на об'єкт, що вдосконалюють, перенести ознаки інших, випадково обраних об'єктів, тоді різко зростає число несподіваних варіантів вирішення.

Методи генерування ідей, засновані на ***аналізі*** й ***синтезі***, використовують відому властивість розуму, на яку спирається розумова діяльність – шляхом розрізнення елементів відшукують можливість їх поєднання у нову цілісність. Евристичні функції аналізу й синтезу використовують насамперед для удосконалення існуючих конструкцій.

Евриємами аналізу є: розчленовування, здрібнювання, редукція, елімінація, секціонування, дезинтеграця, ізолювання, локалізація, десинхронізація, деструкція, сепарування, сортування, селекція, відсівання, спеціалізація, класифікація тощо.

Евриємами синтезу є: об'єднання, дублювання, мультиплікація, інтеграція, що концентрує, просторове зрощення, компаундирування, агрегатування, гірляндне і модульне об'єднання, легування, змішування тощо.

До методів, заснованих на ***застосуванні евристичних функцій абстрагування і конкретизації*** належать: індуктивні й дедуктивні висновки, метод організуючих понять, виключення надмірності та ін.

Евриємами абстрагування є: ототожнення, ізолювання, конструктивізація, допущення потенційної здійсненності тощо.

Конкретизація й абстрагування є парою розумових операцій, що знаходяться в діалектичній єдності. Людина, живучи серед конкретностей і маніпулюючи ними, одержує інформацію. Аналізуючи цю інформацію, людина створює різні нові поняття, що формують область абстракцій. У цій сфері виникають різні задуми діяльності, що потім переносяться у сферу конкретностей. Цей процес протікає безперервно.

При утрудненнях з індивідуальним вирішенням проблемних завдань використовують ***методи колективного генерування ідей***: мозковий штурм, часовий штурм, синектика.

Метод мозкового штурму запропонований А. Осборном (США) у 40-х роках XX століття. Основна концепція мозкового штурму зводиться до забезпечення виходу нових ідей із підсвідомості.

Для проведення мозкового штурму збирається група «генераторів ідей» з 4–12 чоловік. У складі групи не повинно бути начальства. Відносини між учасниками роботи мають бути невимушені.

Кожному з учасників доводиться до свідомості, що вітаються будь-які ідеї, що необхідно одержати багато ідей і що учасники повинні спробувати

комбінувати чи удосконалити ідеї, запропоновані іншими. Забороняється критикувати будь-яку ідею, якою б «дикою» вона не здавалася.

Керівник штурму квапить учасників, у результаті вони висловлюють свої пропозиції, не встигаючи їх обміркувати. Усі пропозиції учасників фіксуються на магнітофонній стрічці. Робота продовжується 15 - 40 хвилин. Отримані при штурмі ідеї передаються на експертизу групі «критиків». При цьому «критики» повинні прагнути виявити раціональне зерно в кожній ідеї.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Завдання теоретичних досліджень

Теоретичне дослідження – процес синтезу знань, виділення суттєвих зв'язків між досліджуваним об'єктом і навколишнім середовищем, пояснення й узагальнення результатів емпіричного дослідження, формулювання загальних закономірностей та їхньої формалізації. Теоретичне дослідження завершується формуванням теорії. Теорія може розглядатись як підтверджена гіпотеза.

Завданнями теоретичного дослідження є:

– узагальнення результатів дослідження; знаходження загальних закономірностей способом обробки й інтерпретації даних;

– поширення результатів дослідження на ряд подібних об'єктів без повторення всього обсягу дослідження;

– вивчення об'єкта, недоступного для безпосереднього дослідження;

– підвищення надійності експериментального дослідження об'єкта (обґрунтування параметрів і умов спостереження, точності вимірювань).

Теоретичні дослідження включають наступні основні етапи:

– аналіз фізичної сутності процесів, явищ;

– формулювання гіпотези дослідження;

– побудова, розробка математичної моделі;

– проведення математичного дослідження;

– аналіз теоретичних вирішень, формулювання висновків.

Може бути прийнятий і інший порядок теоретичних досліджень. Наприклад, якщо не удається виконати математичне дослідження, то формують робочу гіпотезу в словесній формі, залучаючи графіки, таблиці тощо.

3.2 Методологія теоретичних досліджень

Теоретичні дослідження повинні бути творчими, їх метою є одержання нової, корисної інформації. Спростувати існуючі або створити нові наукові гіпотези, глибоко пояснити процеси або явища, що раніше були незрозумілими або недостатньо вивченими, зв'язати воєдино різні явища, тобто знайти стрижень досліджуваного процесу, науково узагальнити велику кількість досвлідних даних – усе це неможливо без теоретичного творчого мислення.

Важливе місце при виконанні теоретичних досліджень займають методи ***дедукції*** й ***індукції***. При використанні методу дедукції частні положення виводяться з загальних. Цей спосіб визначає кінцевий результат дослідження, що базується на визначених відомих логічних зв'язках, за межами яких він не може бути використаний. Недоліком дедуктивного методу дослідження є

обмеження, що виходить із загальних закономірностей, на основі яких досліджується окремий випадок. Щоб всебічно досліджувати рух автомобіля, недостатньо знати лише закони механіки. Необхідно застосувати й інші принципи, що випливають з аналізу системи: «водій – автомобіль – дорога – зовнішнє середовище».

При використанні методу індукції за частними фактами і явищами встановлюються загальні принципи і закони. Індуктивний спосіб широко застосовують у теоретичних дослідженнях. Так, Д. І. Менделєєв, використовуючи частні факти про хімічні елементи, сформулював періодичний закон.

Однак при теоретичних дослідженнях використовують як індукцію, так і дедукцію. Науковець, обґрунтовуючи гіпотезу наукового дослідження, встановлює її відповідність загальним законам діалектики і природознавства (дедукція). У той же час, гіпотезу формулюють на основі частних фактів (індукція).

Особливу роль у теоретичних дослідженнях відіграють методи ***аналізу*** і ***синтезу***.

При аналізі явище поділяється на складники, а при синтезі явище розглядається в цілому, на основі обєднання пов'язаних один з одним елементів у єдине ціле. Метод синтезу дозволяє узагальнювати поняття, закони, теорії. Методи аналізу і синтезу взаємозалежні, їх однаково використовують у наукових дослідженнях.

При аналізі явищ і процесів виникає потреба розглянути велику кількість фактів (ознак). Важливо вміти виділити головне. У цьому випадку може бути застосований метод ***ранжирування***, за допомогою якого виключають усе другорядне, що не впливає істотно на досліджуване явище. Цей метод допускає посилення основних і ослаблення другорядних фактів, дозволяє вивчати головні особливості процесів і явищі в рівних умовах.

У наукових дослідженнях широко застосовується метод ***абстрагування*****,** тобто відволікання від другорядних фактів з метою зосередитися на найважливіших особливостях досліджуваного явища.

У ряді випадків використовують метод ***формалізації.*** Його сутність полягає в тому, що основні положення процесів і явищ представляють у виді формул і спеціальної символіки. Застосування символів і інших знакових систем дозволяє установити закономірності між досліджуваними фактами.

У теоретичних дослідженнях можливі два методи: ***логічний*** і ***історичний***. Логічний метод містить у собі гіпотетичний і аксіоматичний.

Гіпотетичний метод заснований на розробці гіпотези, наукового припущення, що містить елементи новизни й оригінальності.

Гіпотеза повинна повніше і краще пояснювати явища і процеси, підтверджуватися експериментально і відповідати загальним законам

діалектики і природознавства. Цей метод дослідження є основним, найбільш розповсюдженим у прикладних науках.

Гіпотеза становить сутність, методологічну основу, теоретичне передбачення, стрижень теоретичних досліджень. Як керівна ідея всього дослідження, вона визначає напрямок і обсяг теоретичних розробок.

Гіпотеза прийнятна, якщо вона:

1) не суперечить матеріалістичним принципам пізнання;

2) враховує раніше відомі науці закони, але не «підганяє» під них нове знання;

3) пояснює усі факти, для вивчення яких вона висувається;

4) її можна перевірити;

5) будується за принципом максимальної простоти;

6) логічно несуперечлива.

Сформулювати найбільш чітко і повно робочу гіпотезу, зазвичай, важко. Від того, як сформульована гіпотеза, визначається ступінь її наближення до остаточного теоретичного рішення теми, тобто трудомісткість і тривалість теоретичних розробок. Успіх залежить від повноти зібраної інформації, глибини її творчого аналізу, стрункості і цілеспрямованості методичних висновів за результатами аналізу, чітко сформульованих цілей і завдань дослідження, досвіду й ерудиції науковця.

На стадії формулювання гіпотези теоретичну частину необхідно розчленувати на окремі питання, що дозволить спростити її розробку. Основою для аналізу кожного питання є теоретичні дослідження, виконані різними авторами й організаціями. Науковець на основі їхнього глибокого опрацювання, критичного аналізу і формулювання (у разі необхідності) своїх пропозицій розвиває існуючі теоретичні представлення або пропонує нове, більш раціональне теоретичне вирішення теми.

Аксіоматичний метод заснований на очевидних положеннях (аксіомах), що приймають без доведення. Згідно з цим методом теорія розробляється на основі дедуктивного принципу. Більш широке поширення він одержав у теоретичних науках (математика, математична логіка тощо).

Історичний метод дає можливість досліджувати виникнення, формування і розвиток процесів і подій у хронологічній послідовності з метою виявлення внутрішніх і зовнішніх зв’язків, закономірностей і протирічь.

Цей метод дослідження використовується переважно в суспільних і, головним чином, історичних науках. У прикладних науках він використовується, наприклад, при вивченні розвитку і формування тих або інших галузей науки і техніки.

3.3 Використання математичних методів у теоретичних дослідженнях

У технічних науках необхідно прагнути до застосування формалізації висунутих гіпотез і висновків, до застосування математичних методів у дослідженні.

Математичні методи, які використовують у теоретичних дослідженнях можуть бути поділені на такі основні групи.

Аналітичні методи дослідження (елементарна математика, диференційні й інтегральні рівняння й інші розділи вищої математики), використовувані для вивчення безперервних детермінованих процесів.

Аналітичні методи дають змогу вивчати процеси на основі математичних моделей, що можуть бути представлені у вигляді функції, рівняння, системи рівнянь та іншими способами. На підставі аналітичних методів можна встановити математичну залежність між параметрами досліджуваного об'єкта. Ці методи надають можливість глибоко і всебічно вивчити досліджувані процеси, встановити точні кількісні зв'язки між аргументами і функціями, глибоко проаналізувати досліджувані явища.

Використання математичних моделей є одним з основних методів наукового дослідження. Однак їм властиві істотні недоліки. Для того щоб з усього класу знайти частне рішення, яке властиве лише даному процесу, необхідно задати умови однозначності. Встановлення граничних умов вимагає проведення достовірних дослідів і ретельного аналізу експериментальних даних. Невірне прийняття граничних умов призводить до того, що теоретичному аналізові піддається не той процес, що планується, а видозмінений. Крім зазначеного недоліку аналітичних методів, у багатьох випадках відшукати аналітичні вираження з урахуванням умов однозначності, що найбільш реально відображають фізичну сутність досліджуваного процесу, або взагалі неможливо або надзвичайно важко.

Методи математичного аналізу з використанням експериментів (метод аналогій, теорія подоби тощо).

Імовірнісно-статистичні методи дослідження (математична статистика, дисперсійний і кореляційний аналіз, теорія надійності, метод Монте-Карло, марковскі процеси тощо) використовують для вивчення випадкових процесів - дискретних і неперервних.

Методи системного аналізу (дослідження операцій, теорія масового обслуговування, теорія управління, теорія множин і т. д.). Вони застосовуються для дослідження складних моделей – систем з різноманітними і складними взаємозв'язками елементів, що характеризуються безперервністю і детермінованістю, а також дискретністю і випадковістю. Методи системного аналізу одержали широке поширення, що в значній мірі обумовлено

розвитком ЕОМ, що забезпечує швидке рішення й аналіз складних математичних задач.

У технічних науках широко застосовують прикладну математику, що використовує так звані раціональні методи, що передбачають наявність формулювань і тверджень, справедливі лише в даних реальних умовах. При цьому вони можуть уточнюватися в ході дослідження, базуватися на доводах, заснованих на наближених вирішеннях, аналогіях або експериментах тощо, що не прийнятно в чистій математиці.

Великий вплив на розвиток математичних методів дослідження, особливо в прикладній математиці, зробили ЕОМ, зі створенням яких зв'язують новий сучасний етап математики. Використання ЕОМ багаторазове прискорює математичні перетворення й обчислення, водночас не звільняє дослідника від необхідності володіти математичним апаратом.

Рішення практичних завдань математичними методами здійснюється в такій послідовності:

1) математичне формулювання задачі (математичне моделювання);
2) вибір методу дослідження отриманої математичної задачі;
3) проведення математичного дослідження;
4) аналіз і реальна інтерпретація отриманого математичного результату.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Класифікація та структура експерименту

Експеримент (лат. *experimentum*) – це науково поставлений дослід із точно врахованими і керованими умовами. Основною метою експерименту є виявлення властивостей досліджуваних об'єктів чи явищ, перевірка справедливості гіпотез, а також більш широке й глибоке вивчення теми дослідження.

Експерименти класифікують за такими ознаками:

– галуззю науки (хімічний, фізіологічний, біологічний, психологічний, соціальний тощо);

– способом формування експериментальних умов (природний, штучний);

– цілями дослідження (що перетворює, що констатує, контролюючий, пошуковий, вирішальний);

– організацією проведення експерименту (лабораторний, натурний, відкритий, закритий);

– складністю структури досліджуваних об'єктів і явищ (простий, складний, дуже складний);

– характером зовнішніх впливів на об'єкт дослідження (речовинний, енергетичний, інформаційний);

– характером взаємодії засобів експериментального дослідження з досліджуваним об'єктом (звичайний, модельний);

– типом моделей (матеріальний, ідеальний чи уявний);

– кількістю факторів, що варіюють (однофакторний, багатофакторний);

– типом досліджуваних об'єктів і явищ (технологічний, соціометричний);

– ступенем впливу на експериментальні умови (пасивний, активний).

Приведена класифікація експериментальних досліджень не є повною й остаточною, оскільки з розширенням наукового знання розширюється й сфера застосування експерименту. Залежно від завдань експерименту різні його типи можуть поєднуватись, утворювати комплексний чи комбінований експеримент.

Структура експерименту включає такі елементи:

- зразок для експерименту;
- комплекс взаємодіючих іспитових пристроїв і приладів;
- цілеспрямовану дослідницьку діяльність людини.

У модельному експерименті в його структуру замість зразка включають матеріальну модель досліджуваного об'єкта. При цьому модель входить в експеримент, не тільки заміщаючи об'єкт дослідження, але й умови, в яких вивчають деякий об'єкт звичайного експерименту.

Звичайний експеримент включає таку послідовність робіт: висування гіпотези; планування експерименту; конструювання експериментальної

установки; проведення експерименту; інтерпретацію й узагальнення отриманих даних; оцінку адекватності гіпотези; виведення наслідків; обговорення результатів експерименту. Модельний експеримент доповнюють теоретичним обґрунтуванням відносин подоби між моделлю та натурним об'єктом. Загальна структура експериментального дослідження представлена на рисунку 4.1.

Особливе місце в експерименті займає методика. При розробці методики необхідно передбачити: проведення попереднього спостереження за досліджуваним об'єктом чи явищем з метою визначення вихідних даних.

За вихідні дані приймають: створення умов, у яких можливе експериментування; визначення меж вимірювань; систематичне спостереження за ходом розвитку досліджуваного явища й точне описування факторів; проведення систематичної реєстрації результатів вимірювань і оцінку факторів різними засобами і способами; створення повторюваних ситуацій, зміну характеру умов і перехресних впливів; створення ускладнених ситуацій з метою підтвердження чи спростування раніше отриманих даних; перехід від емпіричного вивчення до логічних узагальнень, аналізу й теоретичної обробки отриманого фактичного матеріалу; практичну застосовність; відповідність сучасному рівню науки й умовам, в яких виконують експеримент.

Перед початком експерименту складають його план (програму), що включає: мету і завдання експерименту; вибір факторів, що варіюють; обґрунтування обсягу експерименту; порядок проведення дослідів; визначення послідовності вимірювання факторів; вибір кроку вимірювання факторів; обґрунтування засобів вимірювань; описування порядку проведення експерименту (етапів роботи, розподілу роботи між виконавцями); обґрунтування способу обробки й аналізу результатів експерименту; форму представлення результатів експерименту (звіт, стаття, доповідь).

Кількість завдань для конкретного експерименту не повинне перевищувати 8–10, оптимальне число завдань – 3–4.

Вибір факторів, що варіюють, зводиться до встановлення основних і другорядних, суттєвих і несуттєвих для досліджуваного об'єкта чи процесу. Цей розподіл здійснюють на підставі даних, отриманих на етапі вивчення стану питання і теоретичного дослідження.

Фактором називають вимірну перемінну величину, що приймає в деякий момент визначене значення і що відповідає одному з можливих способів впливу на об'єкт дослідження. Усі фактори можна розділити на якісні й кількісні.

Для факторів вказують область визначення і точність вимірювання. Крім того, фактори мають бути некорельованими і сумісними. Вимога некорельованості не означає, що між факторами немає ніякого зв'язку. Досить, щоб зв'язок не був лінійним. Ця вимога може накладати обмеження на сферу визначення факторів.

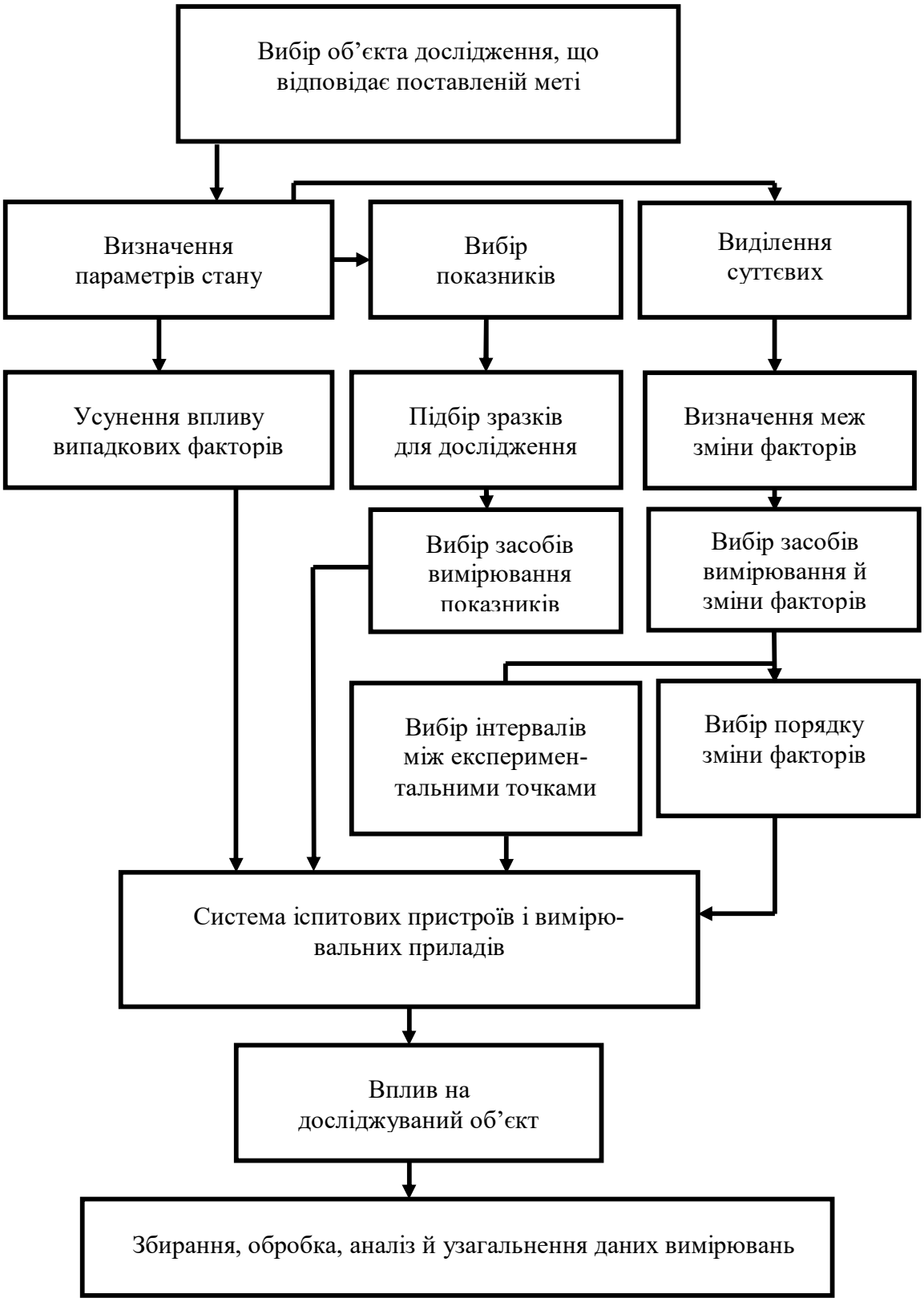

Рисунок 4.1 – Структура експериментального дослідження

Інші обмеження на цю сферу обумовлені вимогою сумісності факторів. Несумісність факторів виникає тоді, коли комбінація їхніх значень, кожне з яких лежить усередині області, не може бути здійснена. Наприклад, комбінація концентрацій речовин приводить при їхньому змішуванні до вибуху.

Процедура відбору факторів до початку експериментальних досліджень зводиться до їхнього ранжирування за ступенем впливу на досліджуваний об'єкт групою експертів. За результатами ранжирування будують діаграму рангів, аналіз якої дозволяє відсівати несуттєві фактори. Якщо фактори на діаграмі розподілені рівномірно, тоді усі фактори повинні включатись у фізичний експеримент. Якщо розподіл нерівномірний, тоді аналізують швидкість падіння ступеня впливу факторів на діаграмі. У випадку швидкого експонентного падіння ступеня впливу факторів на діаграмі рангів з фізичного експерименту виключають фактори, що розміщуються за точкою перегину експоненціальної функції. При повільному плавному падінні ступеня впливу факторів на діаграмі рангів відсівання несуттєвих факторів здійснюють на основі результатів попередніх пошукових дослідів. Для цього використовують рангову кореляцію, дисперсійний і факторний аналіз, а також метод випадкового балансу.

Попередні пошукові досліди мають такі цілі:

1) знайомство дослідника з практикою експерименту і тренаж;
2) перевірку роботи вузлів установки і вимірювального комплексу;
3) визначення послідовності й інтервалів зняття даних, що безпосередньо впливають на точність результатів, зниження ефекту зовнішніх впливів;
4) оцінку можливих помилок первинних вимірюваних величин і результату експерименту;
5) відсівання несуттєвих факторів.

Сутність відсівання факторів методом рангової кореляції зводиться до ранжирування факторів і обчисленню коефіцієнтів рангової кореляції за формулою Ч. Спірмена

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d^2}{n(n^2-1)}, \tag{4.1}$$

де ρ – коефіцієнт рангової кореляції; d – різниця між рангами сполучених факторів X і Y, тобто $d = X_\rho - Y_\rho$; n – обсяг вибірки або число парних спостережень.

Якщо коефіцієнт рангової кореляції дорівнює одиниці, тоді це свідчить про наявність функціонального зв'язку між факторами X і Y. Якщо коефіцієнт рангової кореляції дорівнює нулю, тоді це свідчить про відсутність зв'язку між

факторами. У фізичний експеримент включають обидва фактори, якщо між ними тіснота зв'язку, оцінювана коефіцієнтом рангової кореляції, не перевищує *0,5*. Якщо коефіцієнт рангової кореляції більше *0,5*, тоді один з факторів може бути виключений з подальшого фізичного експерименту.

У ***дисперсійному аналізі*** оцінюють внесок фактора в дисперсію досліджуваного параметра об'єкта. Метод дисперсійного аналізу заснований на розкладанні загальної дисперсії статистичного комплексу на складові її компоненти. Порівнюючи ці компоненти за *F*-критерієм Фішера, можна визначити, яку частку загальної варіації досліджуваного параметра обумовлює дія на нього як регульованих, так і нерегульованих у досліді факторів. Якщо дія фактора незначна, тоді він може бути виключений з подальшого експерименту.

Основою дисперсійного аналізу є правило складання дисперсій, згідно з яким сума міжгрупової і внутрішньогрупової дисперсій рівні загальній дисперсії комплексу:

$$s_1^2 + s_2^2 = s_k^2. \tag{4.2}$$

Факторний аналіз є природним розвитком дисперсійного аналізу. Відміна полягає в тому, що оцінюють внесок фактора не в дисперсію, а в математичне очікування досліджуваного параметра об'єкта.

Для кожної серії паралельних дослідів обчислюють середнє арифметичне значення функції відгуку

$$\bar{y}_j = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} y_{ji} \qquad (j = 1,2,...,N), \tag{4.3}$$

де k – число паралельних дослідів, проведених при однакових умовах.

Зазвичай N і k беруть від 2 до 4. Потім знаходять дисперсію для кожної серії паралельних дослідів:

$$s_j^2 = \frac{1}{k-1}\sum_{i=1}^{k}(y_{ji} - \bar{y}_j)^2. \tag{4.4}$$

Для перевірки відтворюваності дослідів знаходимо відношення найбільшої з оцінок дисперсій до суми всіх оцінок дисперсій

$$G_p = \frac{max\, S_j^2}{\sum_{j=1}^{N} S_j^2}, \tag{4.5}$$

де p – рівень значимості.

Цю величину називають розрахунковим значенням критерію Кохрена.

Для вирішення питання про відтворюваність досліду розрахункове значення критерію Кохрена порівнюють з табличним значенням G. Якщо виконується умова

$$G_p \le G, \tag{4.6}$$

тоді досліди вважаються відтвореними.

Табличне значення критерію Кохрена знаходять для заданого рівня значимості залежно від загальної кількості оцінок дисперсій N і числа ступенів свободи $f = k - 1$.

Якщо досліди невідтворені, тоді можна спробувати досягти відтворюваності, виявивши й усунувши джерела нестабільності експерименту, а також удавшись до більш точних методів і засобів вимірювань. Переконавшись в тому, що названі міри не привели до бажаного результату, потрібно відмовитись від планування такого експерименту.

4.2 Основні поняття планування експерименту

При проведенні багатофакторних експериментів вибирають ***класичний*** чи ***факторний*** плани. У випадку застосування класичного плану усі фактори, крім досліджуваного, фіксують на постійних рівнях. Почергово варіюючи фактори, одержують залежності, що не відображують характер взаємодії факторів. Для усунення цього недоліку застосовують багатофакторне планування.

При однофакторному плануванні можна використовувати два варіанти планів:

– ***послідовний план,*** відповідно з яким необхідно обрати верхнє чи нижнє значення основного досліджуваного фактора і змінювати його через визначений інтервал до одержання іншого граничного значення;

– ***рандомізований (випадковий) план*****,** при реалізації якого значення основного фактора можна чергувати випадково.

Послідовний план застосовують при випробуваннях матеріалів, при вивченні тертя рідини в трубі, вивченні гістерезисних явищ. Для натурних, виробничих умов доцільний рандомізований план, що дозволяє зменшити вплив невідомих систематичних факторів на результат. Це зменшення досягається за рахунок того, що систематично діючі фактори в результаті випадкової послідовності зміни основного фактора переводять в розряд випадкових.

Обсяг експериментальних даних визначають виходячи з таких вимог: забезпечення точності результату; зниження трудомісткості експериментальних робіт. Ці вимоги суперечливі, оскільки для підвищення точності результату доцільне збільшення обсягу, а для зниження трудомісткості – його зменшення. Компромісне вирішення дає виконання двох умов: число дослідів у кожній серії повинно бути достатнім для описування характеру функціональної залежності; вибір інтервалів між експериментальними точками має забезпечувати однакову точність вимірювання параметра об'єкта дослідження.

Число дослідів у кожній серії визначають, виходячи з очікуваної функціональної залежності. Для зменшення випадкових помилок досліди необхідно повторювати з метою підвищення точності й вірогідності результатів. Число повторень залежить від розкиду значень паралельних дослідів.

Якщо в кожній серії результати дослідів розподілені за нормальним законом, тоді мінімально необхідне число дослідів визначають за формулами

$$N_{min} = \frac{s^2 t^2}{s_0}; \tag{4.7}$$

$$N_{min} = \frac{K_в^2 t^2}{\Delta^2}, \tag{4.8}$$

де $s_0 = \frac{s}{\sqrt{n}}$; $K_в = \frac{s}{\bar{y}} 100$; s – середнє квадратичне відхилення варіантів результатів дослідів від середнього арифметичного $\bar{y}$; $K_в$ – коефіцієнт варіації, %; Δ – максимальне значення відносної погрішності вибіркової середньої $\bar{y}$; n – число вимірювань у попередньому експерименті; t – функція довірчої ймовірності, прийнята залежно від необхідної надійності (α) одержуваних результатів:

Надійність α, %	90	95	98	99	99,9
Розрахункове значення t	1,7	2,0	2,4	2,6	3,3

Щоб орієнтовно оцінити необхідне число дослідів, результати яких не розподілені за нормальним законом, можна використовувати деякі властивості середнього арифметичного $\bar{y}$. Тоді будують графік залежності середнього арифметичного значення окремої вибірки від числа дослідів. Значення цього середнього арифметичного, що встановилось, яке спостерігається при великому числі вимірювань y, приймають за генеральну середню. За графіком

визначають необхідне число дослідів залежно від допустимого відхилення середнього арифметичного окремої вибірки від генерального середнього.

При використанні факторних планів експеримент ведуть послідовними етапами, після кожного, з яких можна розглядати запитання про зміну стратегії експерименту. У факторному експерименті всі досліджувані фактори змінюються одночасно за визначеним планом. Одночасне варіювання багатьма факторами дозволяє у 2–10 разів точніше оцінити ефекти впливу факторів, а також ефекти впливу їхніх взаємодій.

Факторний план передбачає одержання математичної моделі процесу. Таку модель можна використовувати для знаходження раціональних умов, управління процесом, а також для коректування й уточнення теоретичних представлень про досліджуваний процес.

Багатофакторне планування, засноване на загальному математичному апараті, дає можливість описувати процес не тільки математично, але й розкривати об'єктивні закономірності, а також перевіряти адекватність представлених результатів експерименту визначеною інтерполяційною залежністю. При цьому скорочується обсяг досліджень і збільшується обсяг інформації про процес. Нарешті багатофакторне планування дозволяє відшукувати оптимальні режими функціонування досліджуваного об'єкта.

При проведенні активного експерименту рівні факторів та їх послідовність беруть відповідно з основними положеннями математичної теорії планування експерименту.

Залежно від завдань дослідження, властивостей об'єкта, наявності апріорної інформації про вигляд моделі вибирають ті чи інші методи планування активного експерименту: *методи математичного описування багатофакторних об'єктів; методи екстремального експерименту; методи планування експерименту на симплексі; методи для динамічних завдань планування; методи вивчення механізму явищ тощо.*

Методи математичного описування багатофакторних об'єктів використовують для отримання математичних моделей (зазвичай у вигляді поліномів), що адекватно описує залежності результативної ознаки від досліджуваних факторів у цікавлячій області факторного простору. Розрізняють дворівневі й багаторівневі, симетричні й несиметричні факторні плани.

Методи екстремального експерименту (метод Гауса-Зейделя, круте сходження, симплекс-метод, випадковий пошук та ін.) застосовують для відшукування оптимальних режимів функціонування багатофакторного об'єкта.

Методи планування експерименту на симплексі (симплекс-ґратчасті, симплекс-центроїдні тощо) призначені для вивчення й математичного описування властивостей багатокомпонентних систем і сумішей, коли на

незалежні перемінні накладені обмеження типу $\sum_{i=1}^{k} x_i = 1$, де x_i – вміст i-того компонента суміші.

Методи для динамічних завдань планування (плани, ортогональні дрейфу; послідовні процедури типу еволюційного планування; симплексний метод адаптаційної оптимізації тощо). Вони призначені для вивчення й оптимізації об'єктів із характеристиками, що змінюються (дрейфуючими).

Методи вивчення механізму явищ використовують для оцінки констант моделей відомої структури, які описують механізм явищ. Можливо також уточнення констант моделей, а також постановки експериментів, що дискримінують, для вирішення завдань вибору однієї з альтернативних моделей. Для оцінки констант часто застосовують звичайні факторні плани, для інших випадків – плани послідовного типу.

Перераховані методи планування експерименту часто використовують разом на різних етапах комплексного дослідження багатофакторного об'єкта. На перших етапах при малому рівні апріорної інформації обмежуються одержанням формальних моделей типу поліномів регресії. В міру накопичення інформації на заключних етапах можливий перехід до побудови моделей, що описують механізми явищ.

Розглянемо методику складання плану для проведення дослідів на прикладі ***повного факторного експерименту***. Повний факторний експеримент (ПФЕ) реалізує всі можливі неповторювані комбінації рівнів незалежних факторів, кожен з яких варіює на двох рівнях. Число цих комбінацій $N = 2^k$, де k – кількість факторів. Дворівневе варіювання факторів допускає введення в експеримент лише мінімальних і максимальних значень факторів. Центр експерименту знаходиться на нульовому (основному) рівні. При встановленні нульового рівня приходиться розглядати різні ситуації. Ситуації задають інформацією про найкращі точки і визначають вирішення. Для ілюстрації до ухвалення вирішення про вибір основного рівня приведена структурна схема (рис. 4.2). До нульового рівня висувають такі вимоги:

1. У цій точці значення відгуку системи на вплив факторів має бути найкращим із усіх відомих значень.

2. Координати нульового рівня повинні лежати усередині області визначення факторів.

Область визначення факторів задають мінімальним і максимальним значеннями факторів.

Рівні факторів кодують. При кодуванні факторів лінійно перетвориться факторний простір з переносом початку координат до центру експерименту і вибором масштабу за осями в одиницях варіювання факторів.

Фактори кодують за допомогою залежності:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{\Delta\tilde{x}_i}, \tag{4.9}$$

де x_i – кодоване значення фактора (безрозмірна величина); $\tilde{x}_i$ – значення фактора в іменованих (натуральних) одиницях; $\tilde{x}_{i0}$ – натуральне значення фактора на нульовому рівні; $\Delta\tilde{x}_i$ – натуральне значення інтервалу варіювання.

Верхній рівень варіювання фактора позначають (+1), а нижній – (-1) чи просто (+) і (-).

Натуральне значення фактора на нульовому рівні визначають за формулою

$$\tilde{x}_{i0} = \frac{\tilde{x}_{max} - \tilde{x}_{min}}{2} + \tilde{x}_{min}, \tag{4.10}$$

де $\tilde{x}_{min}, \tilde{x}_{max}$ – мінімальне і максимальне значення фактора в натуральних одиницях відповідно.

Натуральне значення інтервалу варіювання дорівнює

$$\Delta\tilde{x}_i = \frac{\tilde{x}_{max} - \tilde{x}_{min}}{2}. \tag{4.11}$$

План факторного експерименту представляють у вигляді матриці планування і його графічної інтерпретації. Приклади матриць планування для двох і трьох незалежних факторів представлені у таблицях 4.1, 4.2. Графічне зображення цих планів представлене на рисунку 4.3.

Матриці планування повного факторного експерименту мають властивості ортогональності, нормування, симетрії й рототабельності.

Властивість ***ортогональності****:* сума порядкових добутків елементів будь-яких двох граф дорівнює нулю,

$$\sum_{u=1}^{N} x_{iu} x_{ju} = 0, \quad i \neq j, \tag{4.12}$$

де i, j – номер фактора чи номер стовпця, $i = 0,1,2,...,k$; k – загальна кількість дослідів; u – номер набору факторів чи номер рядка; N – загальне число різних наборів або число рядків матриці.

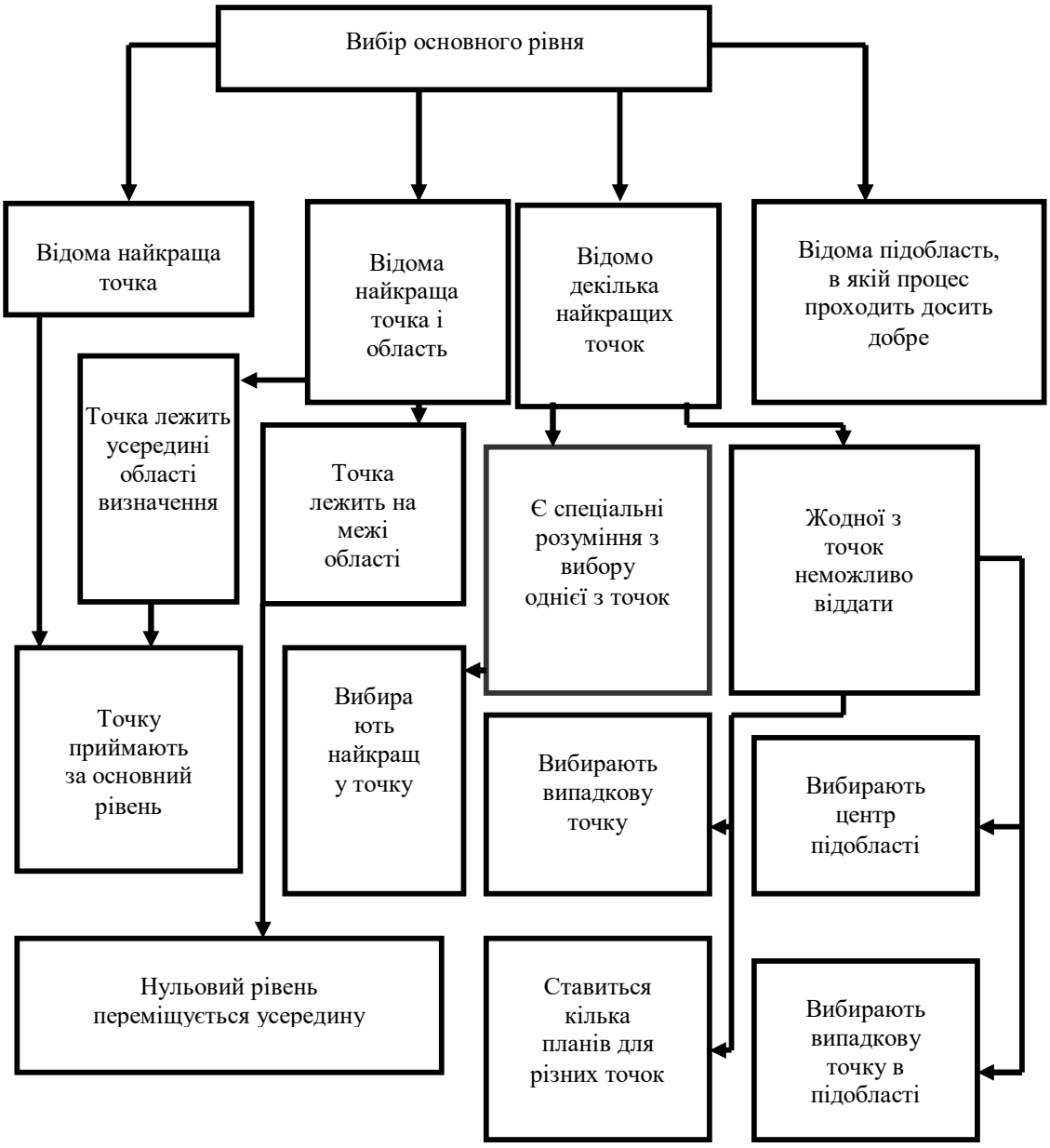

Рисунок 4.2 – Структурна схема ухвалення рішення при виборі основного рівня

Властивість ***нормування:*** сума квадратів елементів будь-якої графи дорівнює числу різних дослідів – рядків N,

$$\sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 = N. \tag{4.13}$$

Таблиця 4.1 – Матриця планування експерименту типу 2^2

№ досліду	Фактори		Результат, y_i
	x_1	x_2	
1	-1	-1	y_1
2	+1	-1	y_2
3	-1	+1	y_3
4	+1	+1	y_4

Таблиця 4.2 – Матриця планування експерименту типу 2^3

№ досліду	Фактори			Результат, y_i
	x_1	x_2	x_3	
1	-1	-1	-1	y_1
2	+1	-1	-1	y_2
3	-1	+1	-1	y_3
4	+1	+1	-1	y_4
5	-1	-1	+1	y_5
6	+1	-1	+1	y_6
7	-1	+1	+1	y_7
8	+1	+1	+1	y_8

а) *б)*

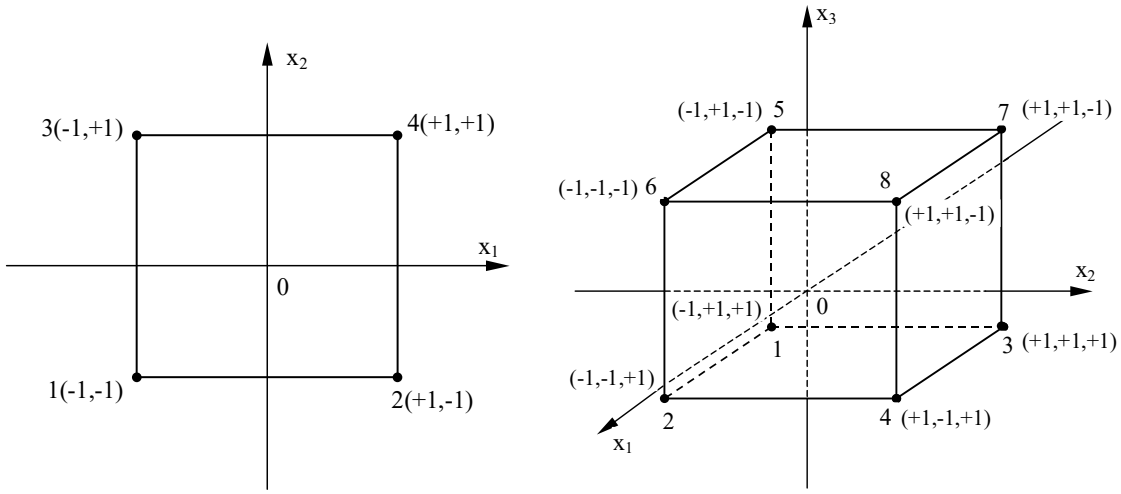

Рисунок 4.3 – Графічне зображення факторних експериментів:
а) типу 2^2; б) типу 2^3

Властивість *симетрії:* алгебраїчна сума елементів будь-якого реального фактора дорівнює нулю (умова балансу позитивних і негативних значень кожної перемінної):

$$\sum_{u=1}^{N} x_{iu} = 0, \;\; i \neq 0. \tag{4.14}$$

Властивість ***рототабельності*:** дисперсії передвіщених значень відгуку на рівних відстанях від центра плану постійні й мінімальні.

4.3 Засоби вимірювання

Невід'ємною частиною експериментальних досліджень є засоби вимірювань, тобто сукупність технічних засобів з використанням яких можна отримати необхідну інформацію для проведення експерименту. До засобів вимірювань належать міри, вимірювальні прилади, установки, стенди та системи.

Міра призначена для відтворення фізичної величини заданого розміру (наприклад, гиря – міра маси).

Вимірювальним приладом називають засіб вимірювання, призначений для одержання деякої інформації про досліджувану величину в зручній для експериментатора формі. У приладах вимірювана величина перетвориться в показання чи сигнал. Зазвичай вони складаються з двох основних вузлів: сприймаючого сигнал і перетворюючого його в показання.

Прилади класифікують за різними ознаками: призначенням, способом відліку, способом оцінки вимірюваних величин, точністю вимірювань, стабільністю показань, чутливістю, межами вимірювань тощо.

За призначенням виокремлюють прилади для вимірювання фізичних, механічних, хімічних властивостей, а також структури матеріалу і виробів.

За способом відліку значень вимірюваної величини прилади поділяють на ті, що показують і ті, що реєструють.

Прилади, що показують, зазвичай включають шкали і покажчики і працюють на аналоговому принципі. Ці прилади дають показання без будь-яких додаткових операцій. Але вони мають великі погрішності. Більш точними є цифрові прилади. Відліковий механізм цих приладів фіксує вимірювану величину у вигляді цифр.

Прилади, що реєструють, бувають самописними й друкованими. Самописні прилади (термографи, шлейфні осцилографи тощо) видають графіки вимірювань. Друковані прилади видають вимірювання у вигляді цифр на стрічці.

Прилади можуть безпосередньо визначати випробуваний показник (наприклад, прес для визначення міцності матеріалу) чи побічно судити про досліджувану властивість (наприклад, ультразвукові дефектоскопи дозволяють оцінити міцність матеріалу за швидкістю проходження ультразвуку).

Найважливішою частиною приладу є його шкала. Відстань у міліметрах між двома суміжними позначками на шкалі називають довжиною розподілу шкали. Різницю між значеннями вимірюваної величини, що відповідає початку і кінцю шкали, називають діапазоном показань приладу.

Вимірювальні прилади характеризують величиною діапазону вимірювань, погрішністю й точністю, стабільністю й чутливістю.

Погрішність приладів – одна з найважливіших його характеристик. Вона виникає внаслідок низки причин: недоброякісних матеріалів і комплектуючих виробів, поганої технології виготовлення, незадовільної експлуатації та ін. Суттєвий вплив на величину погрішності здійснює градуювання шкали приладу і наявність його періодичної перевірки. Перелічені фактори формують ***систематичну погрішність***. Крім того випадкові помилки відліку, паралакс, варіації факторів, що впливають, та їхніх сполучень формують ***випадкові погрішності***.

Сумарну погрішність приладу оцінюють в абсолютних і відносних величинах.

Абсолютну погрішність приладу b оцінюють за формулою

$$b = \pm(x_u - x_д), \tag{4.15}$$

де x_u – номінальне значення вимірюваної величини (показання приладу);

$x_д$ – дійсне значення вимірюваної величини (отримане більш точним методом).

Відносна погрішність приладу дорівнює

$$\mathrm{b}_{\text{відн}} = \pm\frac{x_u - x_д}{x_д}100\%. \tag{5.16}$$

Сумарні погрішності, встановлені при нормальних умовах, називають основними погрішностями приладу чи їх ***точністю***. За точністю прилади поділяють на класи. ***Клас точності*** – це узагальнена характеристика, обумовлена межами основної й додаткових погрішностей, що допускаються і впливають на точність.

Діапазоном вимірювань називають ту частину діапазону показань, для якої встановлені погрішності приладу. Якщо відомі погрішності приладу, тоді діапазони вимірювань і показань збігаються.

Різницю між максимальним і мінімальним показаннями приладу називають ***розмахом***. Якщо ця величина непостійна, тобто якщо при зворотному ході є збільшення чи зменшення ходу, тоді цю різницю називають ***варіацією показань***. Варіація показань визначає стабільність приладу. ***Стабільність*** – це властивість відлікового пристрою забезпечувати постійність показань однієї й тієї ж величини. Тому при встановленні стабільності нормують величину ***допустимої варіації*** $W_д$. Остання пов'язана з допустимою погрішністю $b_д$ співвідношенням

$$W_д = 0{,}5b_д. \tag{5.17}$$

Найважливішою характеристикою приладу є його чутливість.

Чутливість – здатність приладу реагувати на зміни вимірюваної величини. Чутливість оцінюють величиною, зворотною нижньому абсолютному порогові приладу. Під нижнім абсолютним порогом приладу розуміють найменше значення вимірюваної величини, що викликає зміну показань приладу, яку можна зафіксувати.

На результати вимірювань у виробничих умовах суттєвий вплив мають пил, газ, світло, вібрація, електромагнітне випромінювання, електростатичні явища тощо. Тому прилади захищають від таких впливів. Розроблено схеми захистів I і II категорій. Захист I категорії є більш високий.

Вимірювальна установка – це система, що складається з основних, допоміжних засобів вимірювань і перетворювачів. Останні призначені для одно- чи багатоступінчастого перетворення сигналу до такого рівня, щоб можна було зафіксувати вимірювальним механізмом. Перетворювачі, що збільшують у кілька разів на виході вимірювану величину без зміни її фізичної сутності, називають ***масштабними перетворювачами*** (трансформатори, електронні підсилювачі та тощо). Є також перетворювачі, що змінюють фізичну сутність сигналу. Так, електромеханічний перетворювач перетворює електричний сигнал у механічний. Установка може мати кілька перетворювачів, що змінюють вимірювану величину в різних діапазонах. Вимірювальні установки можуть подавати сигнали зручні для автоматичної обробки результатів вимірювань.

Обґрунтування засобу вимірювань – це вибір необхідних для спостережень і вимірювань приладів, устаткування, установок тощо. Тому експериментатор має бути добре знайомим з вимірювальною апаратурою, яку випускають в країні й за її межами.

Різні заводи, фірми, салони видають каталоги (прайс-аркуші), за якими можна замовити ті чи інші засоби вимірювань. Дійсно, що передусім потрібно використовувати стандартні, прилади, які серійно випускаються, й установки,

робота яких регламентується інструкціями, ДСТУ та іншими офіційними документами.

В окремих випадках виникає потреба у створенні унікальних приладів, апаратів, установок, стендів для розробки теми дослідження. У цьому випадку розробка і конструювання приладів та інших засобів мають бути ретельно обґрунтовані теоретичними розрахунками і практичними розумінням про можливість їхнього виготовлення у конкретних умовах. Створюючи нові прилади, бажано використовувати готові вузли приладів, що випускаються, чи реконструювати існуючі прилади.

При виборі засобів вимірювань слід керуватись рядом вимог. Засоби вимірювань повинні:

− максимально відповідати тематиці, меті і завданням НДР;

− забезпечувати високу продуктивність експериментальних робіт;

− забезпечувати необхідну якість експериментів, задану ступінь точності й надійності при мінімальній кількості вимірювань;

− забезпечувати санітарно-гігієнічні, психофізіологічні, психологічні, економічні та інші вимоги;

− забезпечувати вимоги техніки безпеки і пожежної профілактики;

− забезпечувати єдність вимірювань і одноманітність засобів вимірювань.

5 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Статистичні методи оцінки вимірювань

Очищення ряду вимірювань від погрішностей, які виникають за рахунок промахів дослідника, здійснюють таким чином. Визначають коефіцієнт розкиданості ряду вимірювань k_p як відношення найбільшого значення результату вимірювань до найменшого. Якщо $k_p \le 1{,}3$, очищення ряду вимірювань не виконують. При $k = 1{,}2 \div 2{,}0$ очищення ряду вимірювань виконують *методом граничних значень*. При $k > 2{,}0$ ряд вимірювань очищують *методом відносної середньої квадратичної помилки*.

Сутність ***методу граничних значень*** полягає у зіставленні ступеня відхилення найбільшого й найменшого значень результатів вимірювань у досліджуваному ряді з допустимим відхиленням і вирішенні на цій основі запитання про можливість збереження значення, що перевіряється, у ряді.

Допустиме найбільше A_{max} і найменше A_{min} значення ряду визначають за формулами

$$A_{max} = a_{сер} + k(a_{max} - a_{min});\qquad (5.1)$$

$$A_{min} = a_{сер} - k(a_{max} - a_{min}),\qquad (5.2)$$

де a_{max}, a_{min} – фактичні найбільше і найменше значення результатів вимірювань в оцінюваному ряді; $a_{сер}$ – середнє арифметичне значення ряду; k – коефіцієнт, що залежить від числа членів ряду n:

n	4	5	6	7–8	9–10	11–15	16–30	31–50
k	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7

Якщо виявиться, що найбільше і найменше значення фактичних результатів вимірювань будуть відповідно більше чи менше допустимих, тоді вони з оброблюваного ряду виключаються. Якщо в ряді є два чи більше значень, що різко відхиляються, тоді аналіз ведуть послідовно, починаючи з крайнього значення.

Сутність ***методу відносної середньої квадратичної помилки*** полягає у виявленні фактичної помилки, що міститься в оцінюваному ряді, і в зіставленні її з величиною допустимої помилки. Фактичну помилку $s_ф$ ряду, який перевіряють, визначають за формулою

$$s_ф = \pm \frac{1}{\sum a_i} \sqrt{\frac{n\sum a_i - (\sum a_i)^2}{n-1}},\qquad (5.3)$$

де a_i – фактичне значення результату вимірювання; n – число членів ряду вимірювання.

Фактичну помилку зіставляють з допустимою, яку при числі вимірювань менше *5* приймають рівною 7 %, а при числі вимірювань більше *5* – рівною 10 %. Якщо $s_ф > s_д$, тоді ряд потрібно поліпшувати. У цьому випадку визначають, яке з крайніх значень ряду підлягає перевірці (найбільше чи найменше). Для цього підраховують коефіцієнти k_i і k_n:

$$k_i = \frac{\sum a_i - a_{min}}{\sum a_i - a_{max}}; \tag{5.4}$$

$$k_n = \frac{\sum a_i^2 - a_{min}\sum a_i}{a_{max}\sum a_i - \sum a_i^2}. \tag{5.5}$$

Якщо $k_i < k_n$, тоді слід перевірити a_{min}. Якщо $k_i \geq k_n$, тоді потрібно перевірити a_{max} або виключити його з ряду.

При поліпшенні рядів вимірювань необхідно мати на увазі, що при $n = 5 \div 15$ може бути виключено не більше двох значень, а при $n > 16$ – не більше 10 % від *n*. Якщо після виключення a_{max} виявиться, що $s_ф > s_д$, тоді потрібні додаткові вимірювання.

Якщо відомо, що результати вимірювань розподілені за нормальним законом, тоді найбільш простим способом виключення грубих помилок є ***правило трьох сигм***. Відповідно з цим правилом розкид випадкових величин від середнього значення не повинен перевищувати

$$x_{max,min} = \bar{x} \pm 3s. \tag{5.6}$$

5.2 Методи графічного зображення результатів досліджень

При обробці результатів вимірювань і спостережень широко використовують методи графічного зображення. Результати вимірювань, представлені в табличній формі, не дозволяють досить наочно характеризувати закономірності досліджуваних процесів. Графічне зображення дає найбільш наочне представлення про результати експериментів, дозволяє краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності досліджуваних змінних величин, установити наявність максимуму чи мінімуму функції.

Для графічного зображення результатів вимірювань (спостережень), як правило, застосовують систему прямокутних координат. Якщо аналізують графічним методом функцію $y = f(x)$, тоді наносять у системі прямокутних координат значення x_1y_1; x_2y_2 ... x_ny_n (рис. 5.1, *а*). Перш ніж будувати графік,

необхідно знати хід досліджуваного явища. Як правило, якісні закономірності та форма графіка орієнтовно відомі експериментатору з теоретичних досліджень.

Точки на графіку необхідно з'єднувати плавною лінією так, щоб вона по можливості ближче підходила до всіх експериментальних точок. Якщо з'єднати точки прямими відрізками, тоді отримаємо ламану криву. Вона характеризує зміну функції за даними експерименту. Звичайно функції мають плавний характер. Тому при графічному зображенні результатів вимірювань слід проводити між точками плавні криві. Різке скривлення графіка пояснюється погрішностями вимірювань. Якби експеримент повторили із застосуванням засобів вимірювань більш високої точності, тоді одержали б менші погрішності, а ламана крива більше б відповідала плавній кривій.

Але можуть бути виключення. Так, іноді досліджують явища, для яких у визначених інтервалах спостерігається швидка стрибкоподібна зміна однієї з координат (рис. 5.1, *б*). Це пояснюється сутністю фізико-хімічних процесів, наприклад, фазовими перетвореннями вологи при дослідженні систем, що промерзають, радіоактивним розпадом атомів у процесі дослідження радіоактивності тощо. У таких випадках необхідно особливо ретельно з'єднувати точки кривої. Загальне «з'єднання» усіх точок плавною кривою може привести до того, що стрибок функції підмінюється погрішностями вимірювань.

Іноді при побудові графіка одна – дві точки різко віддаляються від кривої. Спочатку потрібно проаналізувати фізичну сутність явища і, якщо немає підстави вважати наявність стрибка функції, тоді таке різке відхилення можна пояснити грубою помилкою чи промахом. Це може виникнути тоді, коли дані вимірювань попередньо не досліджувались на наявність грубих помилок вимірювань. У таких випадках необхідно повторити вимірювання у діапазоні різкого відхилення точки. Якщо колишнє вимірювання виявилось помилковим, тоді на графік наносять нову точку. Якщо ж повторні вимірювання дадуть попереднє значення, необхідно до цього інтервалу кривої віднестись дуже уважно й особливо ретельно проаналізувати фізичну сутність явища.

Часто при графічному зображенні результатів експериментів доводиться мати справу з трьома змінними $b = f(x, y, z)$.

У цьому випадку застосовують метод розподілу змінних. Одній із величин z у межах інтервалу вимірювань $z_1 - z_n$ задають декілька послідовних значень. Для двох інших перемінних x і y (при $z_i = const$) будують графіки $y = f_i(x)$. У результаті на одному графіку одержують сімейство кривих $y = f_i(x)$ для різних значень z (рис. 5.1, *в*).

а) *б*)

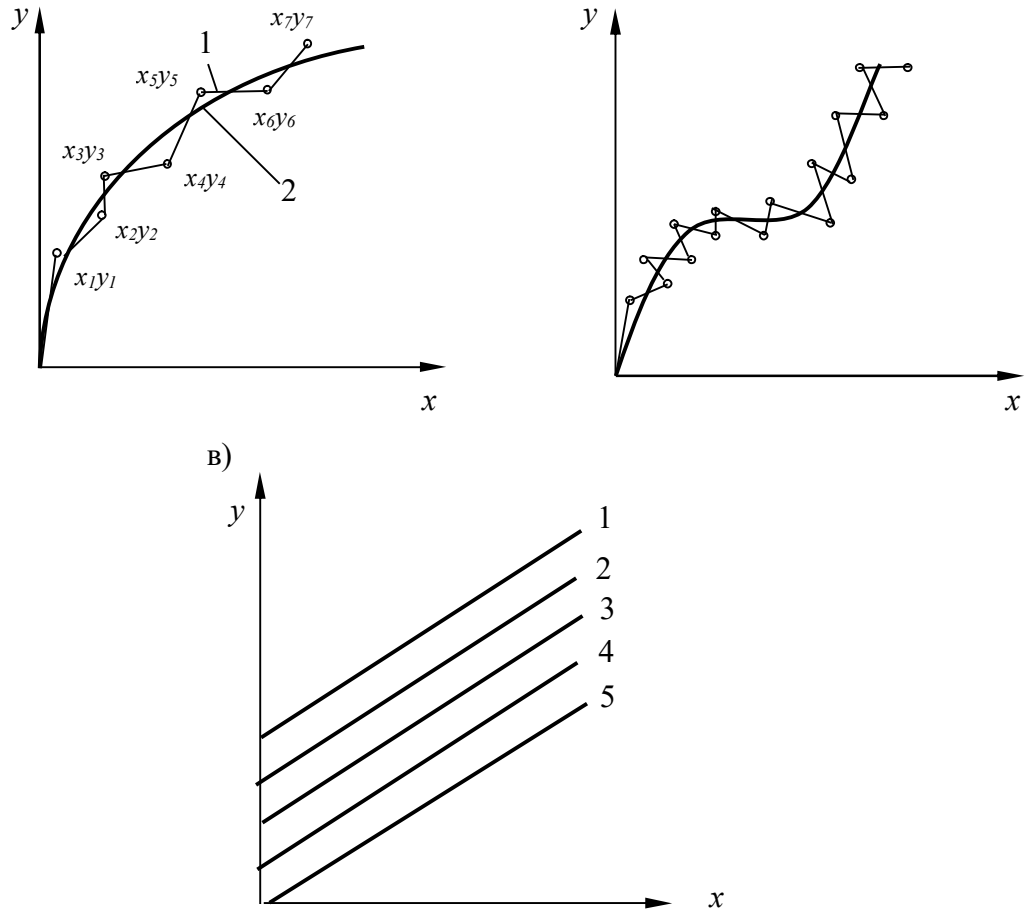

Рисунок 5.1 – Графічне зображення функції:

а) плавна залежність: 1 – крива за результатами безпосередніх вимірювань;

2 – плавна крива; *б*) при наявності стрибка; *в*) при трьох змінних:

1 – Z_5= const; 2 – Z_4=const; 3 – Z_3 = const; 4 – Z_2 = const; 5 – Z_1 = const

Якщо необхідно графічно зобразити функцію з чотирма і більше перемінними $a = f(b,x,y,z)$, тоді будують серію графіків типу попередніх, але кожен з них при $b,...b_n = const$ або приймають з N перемінних (N-*1*) постійними і будують графіки: спочатку $N-1 = f_1(x)$, далі, $N-2 = f_2(x)$, $N-3 = f_3(x)$ та ін. Таким чином, можна простежити зміну будь-якої перемінної величини у функції від інших при постійних значеннях останніх. Цей метод графічного аналізу вимагає старанності, великої уваги до результатів вимірювань. Але він у більшості випадків є найбільш простим і наочним.

5.3 Регресійний і кореляційний аналіз

На відміну від функціональних зв'язків, при яких одному значенню фактора відповідає тільки одне значення реакції досліджуваного об'єкта, існують також імовірнісні чи стохастичні зв'язки. Дві величини пов'язані стохастично, якщо одна з них змінюється при зміні закону розподілу іншої. Стохастичний зв'язок має два часткових випадки – кореляційний і скедастичний. Якщо при зміні однієї величини змінюються тільки середні значення іншої (і навпаки), а дисперсія і тип закону розподілу залишаються незмінними, такий зв'язок називають кореляційним. Якщо ж змінюється тільки дисперсія, а середнє арифметичне постійне, то це скедастичний зв'язок (рис. 5.2).

Крім однобічних зв'язків між перемінними X і Y можуть бути і двохсторонні зв'язки, тобто такі, коли величина однієї ознаки змінюється в залежності від величини іншої ознаки, і навпаки. Для таких залежностей динаміка взаємного зв'язку між змінними величинами отримала назву ***регресії***, а ***методику дослідження регресії називають регресивним аналізом.***

Математично регресію представляють трьома способами:

1) побудовою емпіричних рядів і графіків (ліній) регресії, яких завжди два: регресія Y по X і регресія X по Y;

2) рівняннями, які дозволяють за емпіричними даним побудувати теоретичну, тобто вирівняну лінію регресії;

3) коефіцієнтами, які дають загальну характеристику двохстороннього зв'язку.

У всіх випадках показники регресії дозволяють визначити, наскільки в середньому одна величина (Y) змінюється при відповідних змінах другої величини (X), і навпаки, якою мірою величина (X) змінюється на одиницю зміни величини (Y). Отже, регресія X по Y і Y по X становить ряд середніх значень однієї величини, відповідно обчисленим значенням другої величини.

Побудову рядів регресії здійснюють за допомогою кореляційної решітки, або таблиці, схема якої наведена на рисунку 5.3.

Кореляційна решітка становить таблицю, в якій розташовані два варіаційні ряди (ряд X і ряд Y), які мають загальні частоти. Частоти означені знаком P_{xy}. Число кліток по вертикалі і по горизонталі, з яких складається кореляційна ґратка, відповідає числу класів одного і другого варіаційних рядів. Кожна варіанта двох сполучених рядів займає своє визначене місце, свою клітку, оскільки за характером розподілу частот у кореляційній таблиці можна судити про форму зв'язку між X і Y.

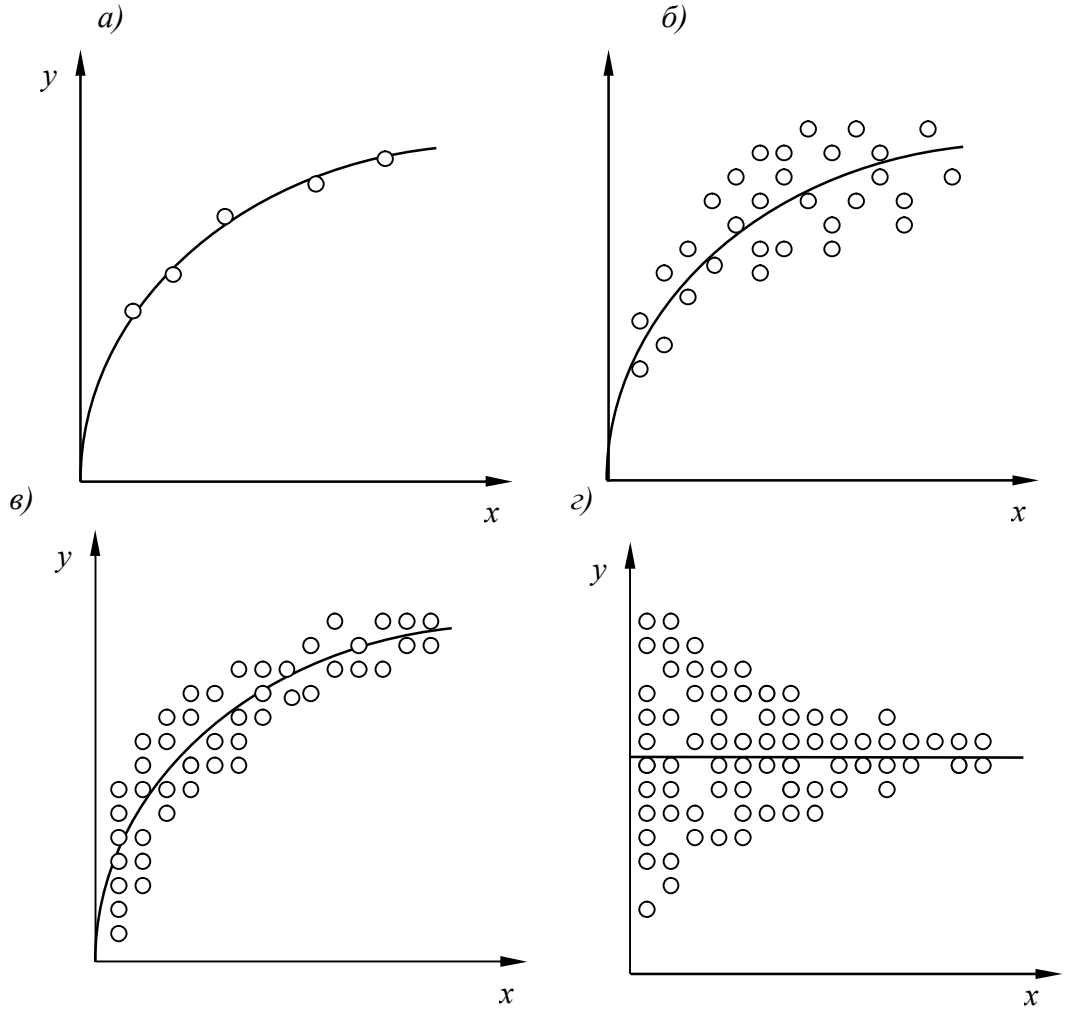

Рисунок 5.2 – Види взаємозв’язку величин:

а) функціональна; *б*) стохастична; *в*) кореляційна; *г*) скедастична

y \ x	x_1	x_2	x_3	x_4	…	x_n	$\sum P_y$
y_1	$P_{x_1y_1}$				…		$\sum y_1$
y_2		$P_{x_2y_2}$	$P_{x_3y_2}$		…		$\sum y_2$
y_3		$P_{x_2y_3}$	$P_{x_3y_3}$	$P_{x_4y_3}$	…		$\sum y_3$
y_4				$P_{x_4y_4}$	…		$\sum y_4$
…	…	…	…	…	…	…	…
y_n					…	$P_{x_ny_n}$	$\sum y_n$
$\sum P_x$	$\sum x_1$	$\sum x_2$	$\sum x_3$	$\sum x_4$	…	$\sum x_n$	$\sum P_{xy} = n$

Рисунок 5.3 – Схема кореляційної решітки

Так, якщо варіанти розподіляються по діагоналі з лівого верхнього кута таблиці до нижнього правого кута, тоді це є свідоцтвом наявності позитивного зв’язку між перемінними *X* і *Y*. Якщо варіанти розподіляються по діагоналі з нижнього лівого кута в напрямку до правого верхнього кута таблиці, тоді це

говорить про наявність негативного зв'язку між величинами *X* і *Y*. Рівномірний розподіл варіант за клітками кореляційної решітки свідчить про відсутність якоїсь залежності між перемінними *X* і *Y*.

При побудові кореляційної решітки число класів k визначають за формулою Старджеса

$$k = 1 + 3{,}32 \lg n. \tag{5.7}$$

Класові інтервали для рядів *X* і *Y* визначають за формулами

$$i_x = \frac{X_{max} - X_{min}}{k}, \qquad i_y = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{k}. \tag{5.8}$$

Закінчивши рознесення частот по клітках кореляційної таблиці і просумувавши їх по строках і стовпцях, визначають частинні середні арифметичні цих рядів за загальними формулами

$$\bar{x} = \frac{\sum xp}{\sum p}, \qquad \bar{y} = \frac{\sum yp}{\sum p}. \tag{5.9}$$

Наприклад, для третьої строки кореляційної таблиці

$$\bar{x} = \frac{x_2 P_{x_2 y_3} + x_3 P_{x_3 y_3} + x_4 P_{x_4 y_3}}{P_{x_2 y_3} + P_{x_3 y_3} + P_{x_4 y_3}}, \tag{5.10}$$

для третього стовпця кореляційної таблиці

$$\bar{y} = \frac{y_2 P_{x_3 y_2} + y_3 P_{x_3 y_3}}{P_{x_3 y_2} + P_{x_3 y_3}}. \tag{5.11}$$

Значення $\bar{y}$ і відповідаючи їм значення $\bar{x}$ становлять емпіричний ряд регресії *Y* по *X*. Зі свого боку значення $\bar{x}$ і відповідні їм значення $\bar{y}$ складають регресію *X* по *Y*. Графічно емпіричну регресію зазвичай відображають у вигляді ламаних ліній. Ламаний характер емпіричних регресій пояснюється тим, що вони відображають не тільки стійке, яке лежить в основі даного явища, але й елементи випадкового порядку.

Ряди регресії представляють не тільки графічно, але й аналітично за допомогою таких рівнянь

$$Y' = \overline{Y} + R_{Y/X}(x - \overline{X}) \quad \text{рівняння регресії } Y \text{ по } X; \qquad (5.12)$$
$$X' = \overline{X} + R_{X/Y}(y - \overline{Y}) \quad \text{рівняння регресії } X \text{ по } Y,$$

де Y' і X' – розраховані за емпіричними даними значення регресії Y/X і X/Y; $\overline{Y}$ і $\overline{X}$ – середні арифметичні рядів розподілу Y і X; R – коефіцієнт регресії, який визначають за формулами:

– коефіцієнт регресії Y/X

$$R_{Y/X} = \frac{\sum a_x a_y}{\sum a_x^2}, \qquad (5.13)$$

– коефіцієнт регресії X/Y

$$R_{X/Y} = \frac{\sum a_x a_y}{\sum a_y^2}, \qquad (5.14)$$

де $a_x = x - \overline{X}$, $a_y = y - \overline{Y}$.

Коефіцієнт регресії дає загальну характеристику зв'язку між перемінними величинами: він показує, наскільки в середньому змінюється величина однієї ознаки при зміні на якусь величину іншої ознаки.

Розрізняють однофакторні (парні) і багатофакторні регресивні залежності. Парна залежність може бути апроксимована прямою, параболою, гіперболою, логарифмічною, ступінною чи показовою функцією, поліномом та ін. Двохфакторні залежності апроксимують площиною, параболоїдом другого порядку, гіперболоїдом.

Регресійний аналіз, який доповнюється методом найменших квадратів, дозволяє дати характеристику динаміки зв'язку. Разом з тим цей метод не дає загального представлення про величину цього зв'язку. Такою величиною є середнє геометричне із коефіцієнтів регресії. Цю величину позначають латинською буквою r і називають ***коефіцієнтом кореляції:***

$$r = \sqrt{R_{X/Y} R_{Y/X}}. \qquad (5.15)$$

На відміну від коефіцієнта регресії коефіцієнт кореляції – величина не іменована. Він змінюється у межах від *0* до *1* і супроводжується або позитивним (+), або негативним знаком (-), що вказує на пряму, або зворотну залежність між перемінними *X* і *Y*. Якщо величини *X* і *Y* розподілені незалежно одна від одної, тоді коефіцієнт кореляції $r = 0$. При збільшенні спряженості між величинами, що варіюють, коефіцієнт кореляції наближається до одиниці: $r = 1$

означає вже не корелятивний, а функціональний зв'язок. Умовно можливо прийняти таку градацію зв'язків між ознаками, що розглядають:

$r < 0,1$ – нема зв'язку;

$0,1 \le r < 0,5$ – слабкий зв'язок;

$0,5 \le r < 0,7$ – середній зв'язок;

$r > 0,7$ – сильний зв'язок.

Коефіцієнт кореляції можна обчислити не тільки для парних розподілів, але й для трьох, чотирьох і більшого числа сполучених рядів. У цьому випадку зв'язки між варіюючими ознаками визначаються за допомогою двох показників: коефіцієнта сукупної, або загальної кореляції та коефіцієнт чатинної, або парціальної кореляції. Так, загальний коефіцієнт кореляції трьох сполучених ознак X,Y і Z визначають за формулою

$$r_{xyz} = \sqrt{\frac{r_{xz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz} + r_{yz}^2}{1 - r_{xy}^2}}. \qquad (5.16)$$

Коефіцієнт кореляції між ознаками X і Y, обчислений при постійній величині Z, називають частинним, або парціальним коефіцієнтом кореляції. Для характеристики зв'зку між X і Y, при виключенні впливу на цей зв'зок величини Z, парціальний коефіцієнт кореляції обчислюють за формулою

$$r_{xy(z)} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}}. \qquad (5.17)$$

Відповідно коефіцієнт парціальної кореляції між величинами X і Z при виключенні впливу величини Y знаходять за формулою

$$r_{xz(y)} = \frac{r_{xz} - r_{xy}r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xy}^2)(1 - r_{yz}^2)}}. \qquad (5.18)$$

Середню помилку коефіцієнта кореляції обчислюють так:

$$m_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}. \qquad (5.19)$$

Достовірність коефіцієнта кореляції оцінюють за допомогою t критерію Стьюдента. Розрахункову величину t критерію визначають за формулою

$$t_p = \frac{r}{m_r}. \tag{5.20}$$

Достовірність коефіцієнту кореляції визначають способом порівняння розрахункового значення t-критерію з табличним.

Коефіцієнт кореляції, також як і коефіцієнти регресії, – надійне міряло прямолінійних зв'язків. При вимірюванні ступеню сполучення між перемінними X і Y у випадках нелінійних зв'язків коефіцієнт кореляції застосовуватись не повинен.

Для оцінки тісноти нелінійного зв'язку між ознаками X і Y використовують запропонований К. Пірсоном показник, який називають ***кореляційним відношенням***.

Кореляційне відношення характеризує зв'язок між ознаками X і Y двохстороннє, тобто Y по X і X по Y. Тому кореляційне відношення характеризують двома коефіцієнтами $\eta_{x/y}$ і $\eta_{y/x}$ подібно до коефіцієнтів регресії. Водночас, якщо коефіцієнти регресії дають уяввлення про величину мінливості однієї ознаки на одиницю міри іншої, тоді кореляційні відношення вказують лише на ступінь спряженості між цими величинами. Кореляційні відношення змінюються у межах від *0* до *1* і не мають знака.

При малому числі спостережень кореляційні відношення обчислюють за формулами

$$\eta_{x/y} = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2 - \sum(x-\bar{x}^0)^2}{\sum(x-\bar{x})^2}};$$

$$\eta_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum(y-\bar{y})^2 - \sum(y-\bar{y}^0)^2}{\sum(y-\bar{y})^2}}, \tag{5.21}$$

де $\sum(x-\bar{x})^2$ – сума квадратів відхилень варіант від їх середньої арифметичної; $\sum(x-\bar{x}^0)^2$ – сума квадратів відхилень варіант від частинної середньої; $\bar{x}^0$ – частинна середня, тобто середнє арифметичне не всього ряду варіант, а окремих його значень, що відповідають обчисленим значенням варіантів іншого ряду, які розташовують у зростаючому чи убутному порядку.

Формування частинного середнього розглянемо на прикладі. Нехай є два спряженні ряди значень X і Y:

$X:$	2	2	4	4	6	6	6	8
$У:$	4	6	5	7	10	8	12	7.

Значення першої ознаки (X) розбивають на чотири групи: *2, 4, 6 і 8*.

У перших двох групах по дві однакові варіанти, в третій групі – три, а в четвертій – всього одна.

За ознакою (Y) ці групи значень не однакові. Так, перші два варіанти мають значення *4* і *6*. Якщо взяти середню арифметичну цих значень, тоді вона однаково буде відповідати двом першим (однаковим) значенням ознаки X : *(4+6) : 2 = 5*. Це і є частинна середня арифметична $(\bar{y}_1^0)$ Y по X. Таким же способом знаходимо величину другого часткового середнього:

$$\bar{y}_2^0 = \frac{5+7}{2} = 6.$$

Для третьої групи значень часткова середня

$$\bar{y}_3^0 = \frac{10+8+12}{3} = 10.$$

У результаті отримаємо ряд частинних середніх арифметичних по ряду Y, відповідних знайденим значенням ряду X:

$X:$	2	2	4	4	6	6	6	8
$У:$	4	6	5	7	10	8	12	7
$\bar{y}^0:$	5	5	6	6	10	10	10	7.

При строго лінійній залежності між змінними величинами Y і X має місце рівність

$$\eta_{x/y} = \eta_{y/x}. \tag{5.22}$$

Інколи для характеристики криволінійної залежності використовують коефіцієнт криволінійної кореляції, який визначають як середню геометричну з кореляційних відношень

$$r_\eta = \sqrt{\eta_{x/y}\eta_{y/x}}. \tag{5.23}$$

Для прямолінійних залежностей коефіцієнти прямолінійної і криволінійної кореляції співпадають, тобто

$$r_\eta = r. \tag{5.24}$$

Різниця між цими коефіцієнтами може бути використана як міра лінійності зв'язку

$$\gamma = r_\eta - r. \tag{5.25}$$

Міра лінійності зв'язку може змінюватись у межах від *0* до *1*.

Середню помилку міри лінійності у (5.25) обчислюють за формулою

$$m_\gamma = 2\sqrt{\frac{\gamma}{n}}. \tag{5.26}$$

Достовірність міри лінійності γ визначають за допомогою t критерію Стьюдента за допомогою формули (5.20). Як міру лінійності зв'язку використовують різницю між квадратами кореляційного відношення та коефіцієнта кореляції

$$\gamma = \eta^2 - r^2. \tag{5.27}$$

Оскільки кореляційних відношень два, то потрібно обчислювати дві міри лінійності.

Достовірність показника γ може бути перевірена за допомогою F-критерію Фішера

$$F_p = \frac{\gamma}{1-\eta^2} \cdot \frac{n-a}{a-2}, \tag{5.28}$$

де F_p – розрахункове значення критерію Фішера; a – число груп чи класів варіаційного ряду; n – обсяг вибірки.

Якщо $F_p > F_T$, тоді гіпотезу про лінійність зв'язку відкидають. Тут F_T – табличне значення F-критерію Фішера. Значення F_T визначають за таблиці для ступенів свободи $k_1 = a-2$ і $k_2 = n-a$ і прийнятого рівня значущості α.

Іноді для перевірки гіпотези про форму зв'язку між змінними величинами застосовують критерій Блекмана

$$B = n\left(\eta^2 - \lesseqgtr\right) \quad 11{,}37. \tag{5.29}$$

За наявності лінійного зв'язку цей показник не перевищує *11,37*. Якщо ж зв'язок між ознаками нелінійний, тоді

$$n\left(\eta^2 - r^2\right) > 11{,}37. \tag{5.30}$$

5.4 Адекватність результатів досліджень

Результати експериментальних досліджень дозволяють оцінити достовірність гіпотез та адекватність теоретичних моделей об'єкта дослідження експериментальним даним. У практиці оцінки адекватності застосовують дві групи статистичних критеріїв згоди: 1) параметричні критерії; 2) непараметричні, або порядкові критерії.

Застосування параметричних критеріїв базується на використанні вибіркових характеристик (параметрів) $\bar{x}$ і s. Параметричні критерії виходять із припущення про нормальність розподілу оцінюваних рядів. До таких критеріїв належать критерій Пірсона (*xi*-квадрат), t-критерій Стьюдента, критерій Фішера, критерій Романовського, критерій Кохрена тощо.

Для застосування непараметричних критеріїв не потрібно використання вибіркових характеристик. Для непараметричних критеріїв характерно, що вони однаково придатні для оцінки вибіркових розподілів будь-якого вигляду. Але для їх використання необхідне упорядкування у вигляді кумулят емпіричних і теоретичних розподілів, тобто одержання рядів накопичених частот. До непараметричних критеріїв належать критерій Колмогорова, критерій Уайта, критерій Вілкоксона тощо.

Відповідно до критерію Пірсона гіпотеза підтверджується, якщо дотримується умова

$$P\left(\chi^2, q\right) > \alpha = 1 - \varphi(x). \tag{5.31}$$

Тут $\alpha = 1 - \varphi(x)$ – рівень значимості, що зазвичай приймають *0,10*; χ^2 – критерій згоди Пірсона; q – число ступенів свободи, що дорівнює

$$q = m - k, \tag{5.32}$$

де m – кількість груп (серій, класових інтервалів) або число вимірювань в одній серії при аналізі односерійного експерименту; k – число використовуваних зв'язків (констант).

Розрахункове значення χ^2 обчислюють за формулою

$$\chi^2 = \sum \frac{(p - p')^2}{p'}, \tag{5.33}$$

де p – емпірична частота; p' – теоретична або обчислена частота.

Розрахункове значення критерію Пірсона зіставляють з табличним при заданих ступенях свободи та рівні значущості.

Критерій Романовського визначають відношенням

$$K_p = \frac{\left(\chi^2 - m\right)}{\sqrt{2m}}, \tag{5.34}$$

де m – число членів вибірки, які зіставляють.

Теорія й експеримент адекватні, якщо виконується умова

$$K_p < 3. \tag{5.35}$$

Адекватність математичної моделі оцінюють за допомогою критерію Фішера. Розрахункове значення критерію Фішера обчислюють за формулою

$$F_p = \frac{s^2(y)_a}{s^2(y)_{заг}}, \tag{5.36}$$

де $s^2(y)_a$ – залишкова дисперсія; $s^2(y)_{заг}$ – загальна дисперсія відтворюваності.

Розрахункове значення порівнюють з табличним. Якщо $F_p \le F_T$ – модель адекватна, при $F_p > F_T$ – модель неадекватна.

Для статистичної оцінки значимості коефіцієнтів математичної моделі використовують t-критерій Стьюдента.

Розрахункове значення критерію Стьюдента обчислюють за формулою

$$t_p = \frac{\left|b_j\right|}{s^2(b_j)}, \tag{5.37}$$

де $\left|b_j\right|$ – абсолютне значення величини коефіцієнта математичної моделі, який оцінюють; $s^2(b_j)$ – дисперсія коефіцієнта моделі.

Розрахункове значення t-критерію порівнюють з табличним t_T. При $t_p \geq t_T$ – коефіцієнт значимий, при $t_p < t_T$ – коефіцієнт незначимий.

Критерій Колмогорова становить максимальну різницю (d_{max}) між значеннями накопичених частот емпіричного й обчисленого рядів (без урахування знака d), віднесену до квадратного кореня із суми усіх варіантів сукупності:

$$\lambda_p = \frac{d_{max}}{\sqrt{n}}, \tag{5.38}$$

де λ_p – розрахункове значення критерію Колмогорова; n – обсяг вибірки.

Розрахункове значення критерію Колмогорова порівнюють з граничним $\lambda_Г$. Якщо $\lambda_p < \lambda_Г$, тоді емпіричний й обчислений ряди адекватні.

Граничне значення критерію Колмогорова обчислюють за формулою

$$\lambda_Г = \sqrt{\frac{1}{2}\ln\frac{2}{\alpha}}, \tag{5.39}$$

де α – рівень значимості.

Неодмінною умовою застосування критерію «лямбда» служить достатнє число (не менше *100*) спостережень. Тому простий за своєю конструкцією, він незастосовний до оцінки нечисленних сукупностей.

6 МОДЕЛЬ І МОДЕЛЮВАННЯ У НАУКОВОМУ ДОСЛІДЖЕННІ

6.1 Загальні поняття та класифікація моделей

Моделювання можна розглядати з різних точок зору: як метод дослідження та процесс побудови моделі.

Моделювання – метод дослідження об'єкта шляхом заміни його більш зручною і доступною для дослідження системою – моделлю, що зберігає суттєві риси оригіналу.

Як процес ***моделювання*** передбачає побудову, вивчення та використання моделей об'єктів як спеціального засобу пізнання.

Створення моделі системи дозволяє передбачити її поведінку в певному діапазоні умов. Залежно від завдань і цілей моделювання воно може виконуватись на різних рівнях абстракції.

До переваг модельного підходу можно віднести таке:

– можливість оцінки різних варіантів проектних рішень;

– модель дає можливість задавати різні умови функціонування об'єкта, зокрема й екстремальні, без втручання в процес з боку дослідника;

– експерименти на моделі вимагають менше матеріальних і трудових витрат, ніж проведення натурних експериментів і можуть проводитися в мінімальний термін;

– модель дає можливість здійснювати експерименти з системами, які ще не створені, а лише проектуються.

Під ***моделлю*** розуміють таку представлену ідеальну або матеріально реалізовану систему, яка, відображаючи чи відтворюючи об'єкт дослідження, здатна заміщати його так, що її вивчення дає нову інформацію про цей об'єкт. ***Модель*** – опис системи, що відображає групу її властивостей. Модель знаходиться в деякій відповідності з досліджуваним об'єктом. При побудові моделі об'єкт і його властивості узагальнюються і спрощуються. Модель відображає лише істотні властивості об'єкта. При цьому зайва деталізація ускладнює дослідження, робить його громіздким. Тому модель виконують оптимальною за складністю виходячи з мети дослідження.

Моделі класифікують за такими ознаками (рис. 6.1):

1. Методом побудови.
2. Способом урахування фактора часу.
3. Характером протікання процессу, що моделюється.
4. Характеру урахування випадкових факторів.

1. За методом побудови виокремлюють шість груп моделей: математичні; імітаційні; інформаційні; ситуаційні; лінгвістичні; фізичні.

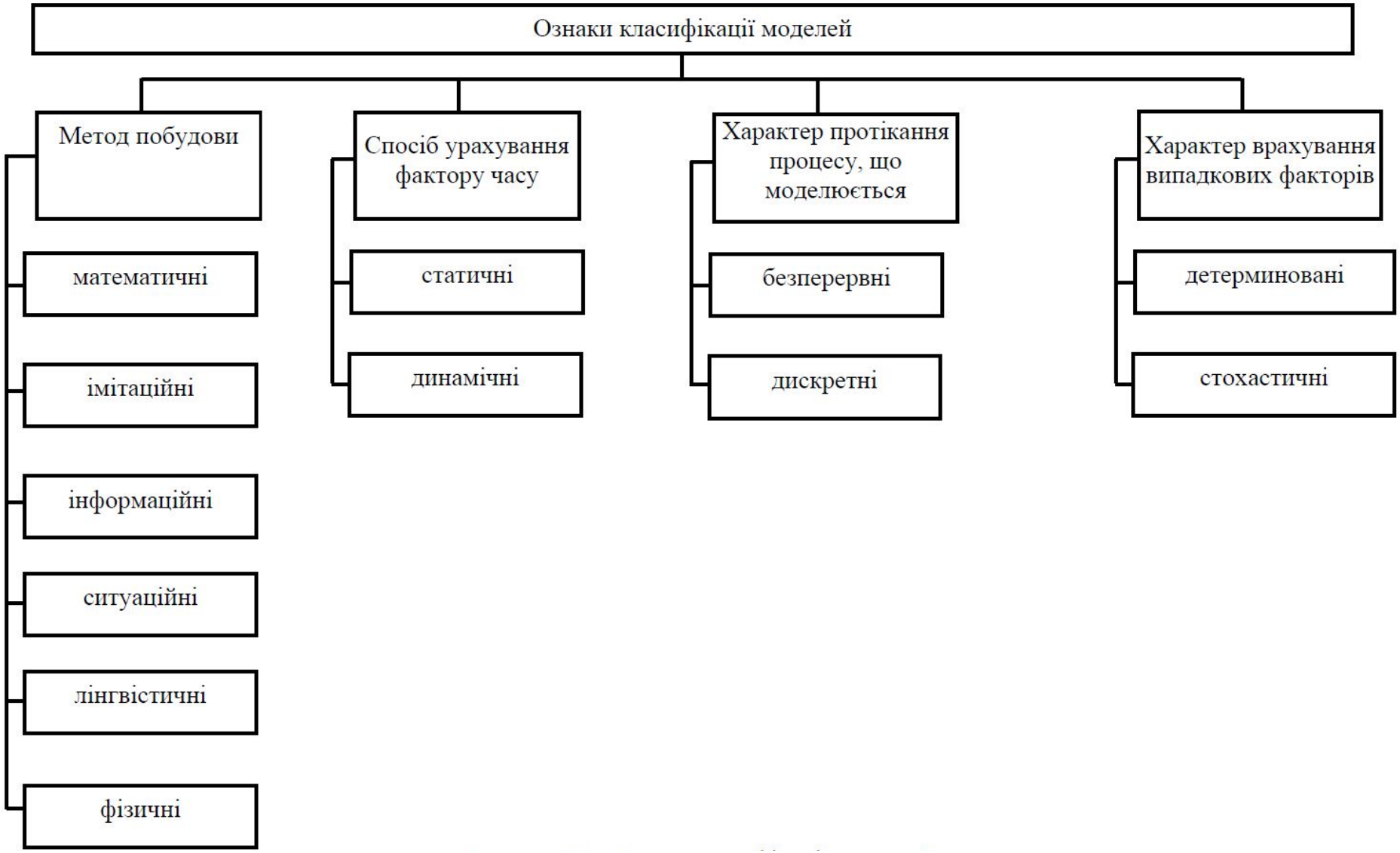

Рисунок 6.1 – Схема класифікації моделей

Відмінність моделей цих груп полягає в мові їх описання.

Математична модель становить математичний опис об'єкта, процесу, явища, яке відображає найбільш важливі для вирішення завдання його риси, що розглядаються.

Математичні моделі формулюються у вигляді рівнянь, функцій, матриць та інших конструкцій, що записується на мові математики. Як апарат побудови математичних моделей використовують методи динамічної та статичної оптимізації, теорія ігор, теорія інформації тощо.

Імітаційні моделі описують об'єкт моделювання на мові алгоритмів які можуть включати в себе як математичні вирази, так і деякі неформальні процедури, зокрема процедури прийняття рішень. Імітація випадкових процесів здійснюється з використанням методу Монте-Карло.

Інформаційні моделі відображають поведінку модельованого об'єкта через потоки інформації, якими обмінюються його елементи та підсистеми в процесі функціонування.

Ситуаційні моделі описують поведінку об'єкта на мові типових ситуацій, що становлять миттєву фотографію об'єкта в конкретний момент часу, що передує моменту зміни його стану як реакції на зовнішній вплив.

Лінгвістична модель – опис об'єкта моделювання на природній або близькій до природньої мові.

Фізична модель – сам об'єкт, але підготовлений до «чистого» експерименту, або його опис мовою фізичних процесів, близьких за своїм походженням до процесів, що відбуваються в самому об'єкті.

Фізичні моделі дозволяють наочно представляти, як протікає процесс в дійсності. За допомогою фізичних моделей можна вивчати вплив окремих параметрів на перебіг фізичних процесів (наприклад, дослідження макета літака в аеродинамічній трубі на обтічність).

2. За способом урахування чинника часу моделі поділяються на динамічні та статичні (стаціонарні).

Статична модель описує зв'язок між компонентами стану або між цими компонентами та іншими характеристиками системи в умовах рівноваги та інших умовах «заморожування» стану.

Стан системи – це змінний елемент деякого простору станів, завдання якого для певних моментів часу доставляє той мінімум відомостей, які необхідні для повного опису поведінки системи.

Статичні моделі використовуються для представлення систем параметри компонентів яких можна вважати такими, що не залежать від часу.

Динамічною називається модель, в якій в тій чи іншій формі розкриваються причинно наслідкові зв'язки, які визначають процес переходу системи, що розвивається у часі (об'єкта, процесу, явища) з одного стану в інший.

Динамічна модель системи може розглядатися як структурно-функціональна, оскільки в ній відображається структура системи і спосіб її функціонування.

Функціонування системи – цілеспрямована зміна в часі стану системи.

3. За характером протікання модельованого процесу виділяють дискретні і безперервні моделі.

Безперервні моделі використовують для опису процесів, які протікають у часі, що безперервно змінюється та є аргументом відповідних їй функцій. Роль безперервного аргументу в різних завданнях дослідження можуть відігравати та інші величини.

Дискретні моделі дозволяють розглядати стан системи тільки для послідовності дискретних значень незалежної змінної (часу), відволікаючись від характеру процесів, що відбуваються в проміжках між цими значеннями.

Такі моделі становлять як би моментальні фотографії стану системи, виконаної послідовно через деякі проміжки часу (або іншої незалежної змінної). Зрозуміло, що точність моделювання тим вища, чим менше прирощення незалежної змінної, але зменшення інтервалів між дискретними значеннями неминуче призводить до збільшення обсягу обчислень. Представлення безперервних систем дискретними моделями завжди пов’язане з вирішенням питання про оптимальний вибір кроку дискретності як компромісу між точністю і простотою.

Для багатьох систем дискретність є основною властивістю їх функціонування. У певні моменти часу відбувається перехід з одного стану в інший, послідовність яких становить найбільший інтерес, а процеси між цими станами або відсувається на другий план, або зовсім не мають значення. У цих випадках дискретна модель становить природне відображення системи в тому сенсі, що дискретні моменти часу визначаються зміною її станів.

4. За характером урахування випадкових факторів моделі поділяться на детерміновані та стохастичні (імовірнісні) моделі.

Детермінована модель відображає поведінку системи з позицій повної визначеності у теперішньому часі та майбутньому (наприклад, формули фізичних законів: сила струму від опору провідника, швидкість падіння від висоти тощо).

Імовірнісна модель враховує вплив випадкових факторів на поведінку системи і, отже, оцінює майбутнє з позиції імовірності тих чи інших подій.

Детермінований підхід часто використовується в плануванні перевезень. У теж час при вирішенні питань оперативного управління переважає імовірнісний підхід.

Стохастичні моделі мають особливо важливе значення при дослідженні великих систем зі складними зв’язками і властивостями, що важко враховуються.

У подібних ситуаціях близькість математичної моделі до вихідної системи посилюється наданням їй імовірнісного або статистичного характеру, що враховує істотні властивості та зв'язки, які не піддаються детерминированному опису.

6.2 Вимоги, що висуваються до моделей

До моделей висувається низка вимог до яких належать: адекватність; повнота; точність; стійкість; абстрактність; складність.

Адекватність моделі характеризує відповідність реакції моделі реакцій реальної системи або об'єкта моделювання в межах заданої властивості повноти моделі.

Точність моделі являє собою кількісну міру адекватності моделі.

Повнота моделі характеризує відповідність між сукупністю властивостей об'єкта, які враховані в моделі, і сукупністю властивостей, які необхідно було б врахувати в ідеальному випадку в процесі експерименту.

Щоб забезпечити достатню точність моделі потрібно врахувати при ідеалізації реального об'єкта усі істотні властивості та зв'язки, відволікаючись від другорядних, несуттєвих властивостей і зв'язків. Вирішення цього питання залежить не тільки від характеру самого об'єкта, але й поставленого завдання. Тому для одного і того ж об'єкта може знадобитися не одна, а декілька моделей, які обслуговують різні завдання при його проектуванні або дослідженні.

Якщо модель дає на виході скалярную величину, то точність моделі оцінюється виходячи з порівняння цієї величини, отриманої за допомогою моделі і в процесі експерименту.

У тому випадку, якщо явище, що моделюється чи система повинні перевірятися за декількома вихідним величинам, то використовується набір критеріїв і спеціальні процедури оцінки точності та адекватності моделі. Слід розрізняти точність моделі в сенсі повноти опису об'єкта і точність представлення тієї частини об'єкта, яка обрана для аналізу при заданому рівні повноти.

Стійкість моделі характеризує здатність моделі зберігати адекватність при зміні умов її застосування. Чим вища стійкість, тим більш життєпридатною є модель. Однак збільшення запасу стійкості неминуче знижує її точність.

Абстрактність моделі є характеристикою рівеня узагальнення властивостей реального об'єкта.

Складність моделі характеризується числом моделей більш низького рівня, що використовуються при побудові моделі, а також числом зв'язків між моделями нижчого рівня.

Усередині групи моделей, утвореної за допомогою першого класифікаційної ознаки, можна провести їх ранжування по відношенню до властивостей стійкості, складності, абстрактності повноти і точності. На рисунку 6.2 наведено ілюстративний графік, який характеризує зміну властивостей моделі залежно від методу її побудови.

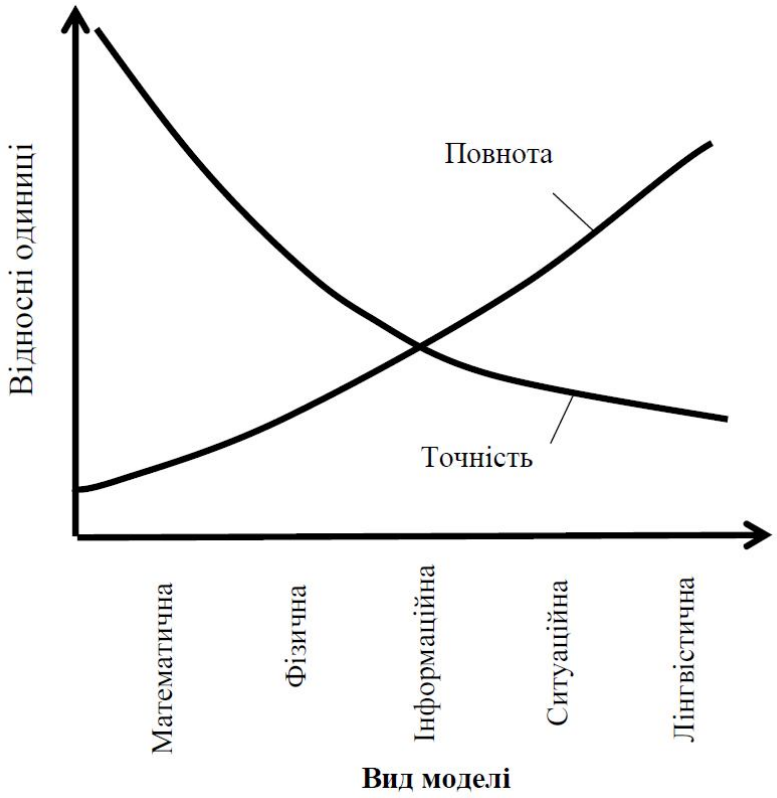

Рисунок 6.2 – Графік зміни властивостей моделі залежно від мови описання

У міру зміни мови описання об’єкта від математичного до мови фізичних моделей відбувається зростання стійкості, складності та повноти і спадання точності і абстрактності. Варто зауважити, що границі між різними методами побудови моделей динамічні і досить умовні.

6.3 Етапи моделювання

Слід зазначити, що структура процесу моделювання має індивідуальний характер залежно від характеристик модельованого об’єкта. Об’єкти моделювання у транспортній галузі зазвичай є складними системами, що характеризуються описовою складністю, наявнісю прямих та зворотніх зв’язків, як у середені системи, так і з зовнішнім середовищем. Незважаючи на це, у структурі процесу моделюваннння можна видлілити типові етапи. Їх представлено у вигляді структурної схеми, що представлена на рисунку 6.3.

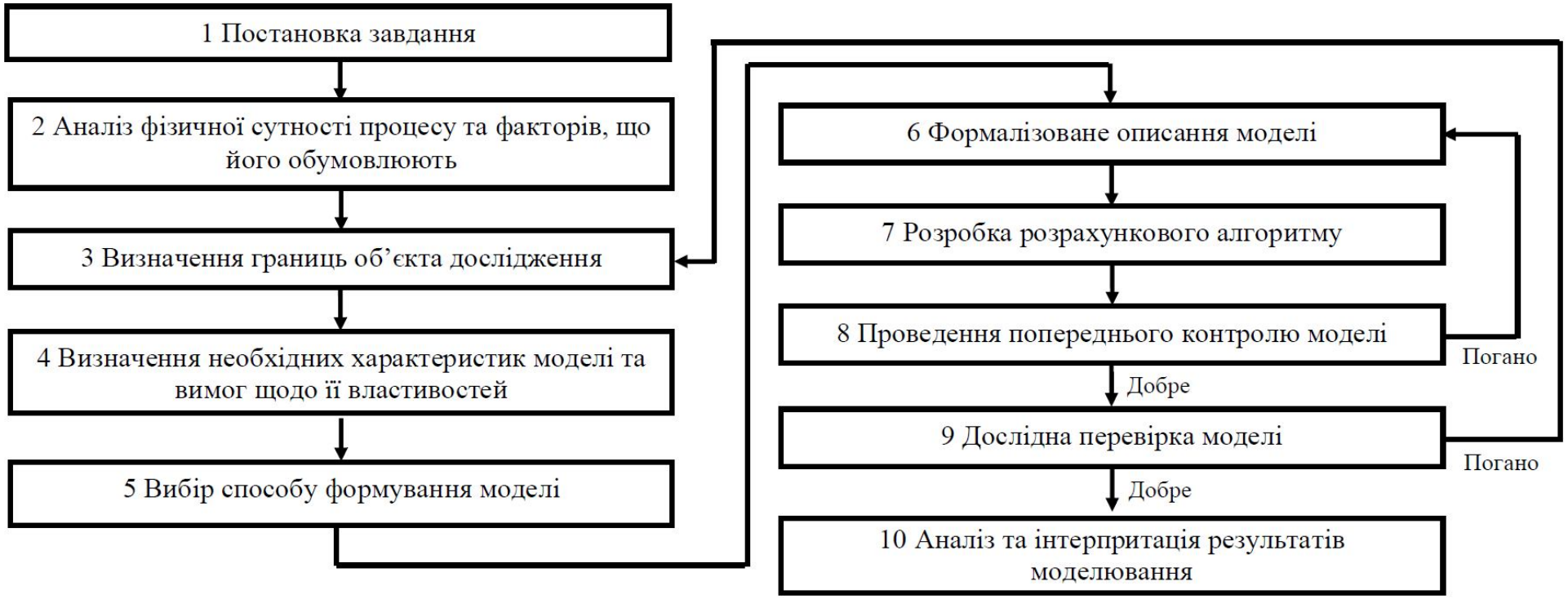

Рисунок 6.3 – Структурна схема розробки моделі

6.4 Математичне моделювання

Математичне формулювання завдання зазвичай представляють у вигляді чисел, геометричних образів, функцій, систем рівнянь тощо. Описування об'єкта (явища) у математичній формі можуть бути представлені за допомогою безперервної чи дискретної, детермінованої чи стохастичної та іншої математичної моделі.

Математичне моделювання включає п'ять етапів:

1) постановку завдання;
2) вибір типу (класу) математичної моделі;
3) вибір вигляду математичної моделі в даному класі;
4) вибір структури математичної моделі;
5) попередній контроль моделі.

Постановка завдання включає: визначення об'єкта і цілей дослідження, завдання критеріїв (ознак) вивчення об'єктів і управління ними. Неправильна чи неповна постановка завдання може звести нанівець результати всіх наступних етапів.

Дуже важливим на цьому етапі є встановлення меж області впливу досліджуваного об'єкта. Врахування області впливу об'єкта при математичному моделюванні дозволяє включити в цю модель всі суттєві фактори і розглядати систему, що моделюють, як замкнену, тобто з відомим ступенем наближення, незалежною від зовнішнього середовища. Останнє значно спрощує математичне дослідження.

Другим етапом моделювання ***є вибір типу (класу) математичної моделі***. Вибір типу математичної моделі визначає напрям усього дослідження.

Для вибору класу математичної моделі необхідно попередньо встановити загальні характеристики досліджуваного об'єкта.

Процес установлення загальних характеристик об'єкта може бути представлений у вигляді алгоритму:

– ідентифікація детермінізму;
– ідентифікація лінійності системи;
– ідентифікація динамічності детермінованих систем;
– ідентифікація нестаціонарності системи.

Установлення загальних характеристик об'єкта дозволяє вибрати математичний апарат, на базі якого будують математичну модель. Вибір математичного апарата може бути здійснений відповідно за схемою, представленою на рисунку 6.4. Як видно з даної схеми, вибір математичного апарата не є однозначним і твердим.

Вибір вигляду математичної моделі в обраному класі є ***третім етапом*** математичного моделювання. Цей етап пов'язаний з визначенням областей дії досліджуваних параметрів об'єкта, тобто значень, що є

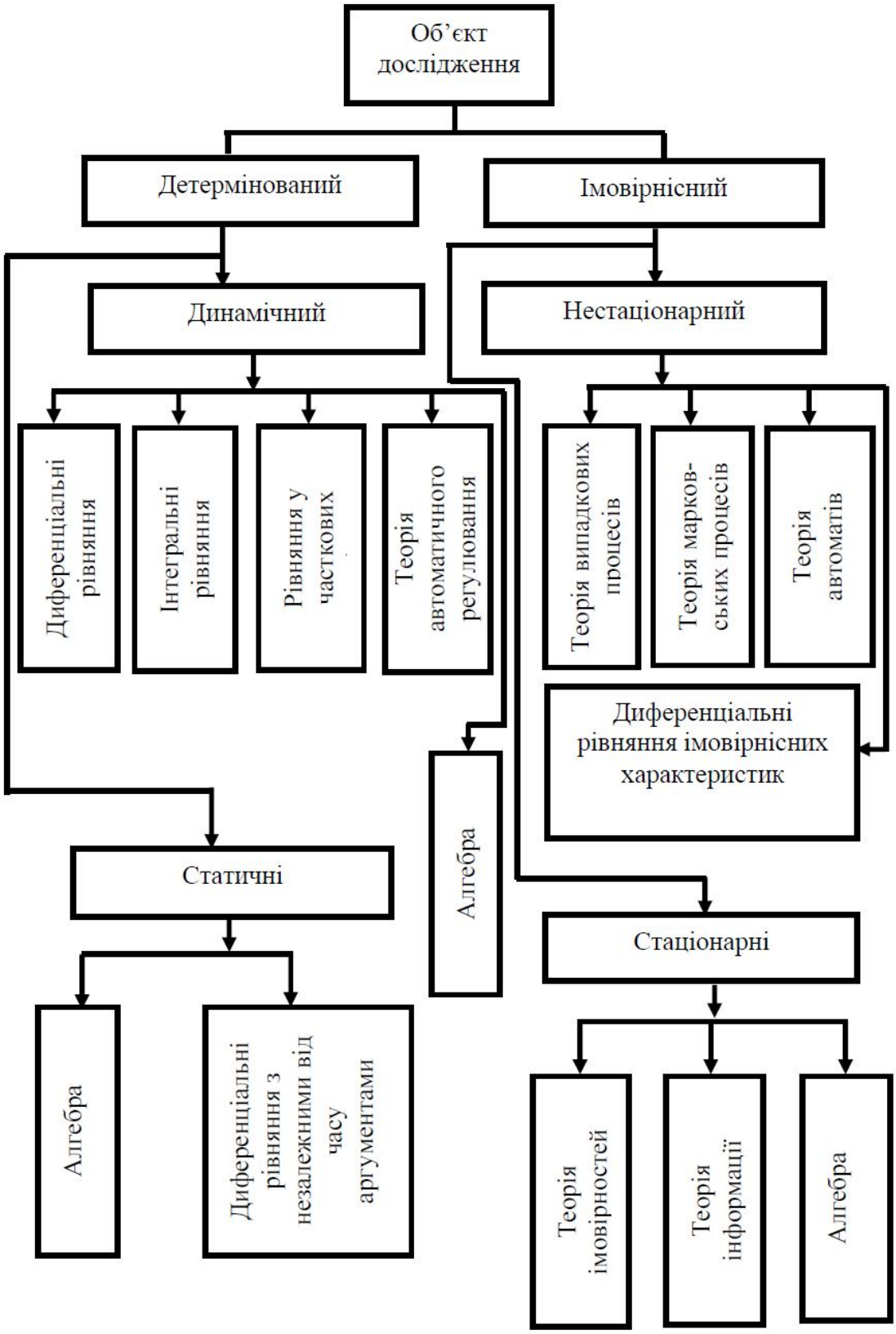

Рисунок 6.4 – Математичний апарат для побудови математичної моделі

допустимими, і встановленням залежностей між ними. Для кількісних (числових) параметрів залежності задають у вигляді систем рівнянь (алгебраїчних чи диференціальних), для якісних – використовують табличні способи завдань функцій.

Суттєвим моментом математичного моделювання є ***вибір структури моделі.*** Так, у класі алгебраїчних функцій під структурою моделі розуміють вигляд і ступінь полінома. У класі диференціальних рівнянь – вигляд і порядок диференціального рівняння.

Вибрати структуру математичної моделі в заданому класі допомагає залучення різних додаткових критеріїв, що відображають фізичні закономірності чи специфіку розв'язуваного завдання.

Процес вибору класу і структури математичної моделі об'єкта закінчують її попереднім контролем. При цьому здійснюють контроль розмірностей, контроль порядків, контроль характеру залежностей, контроль екстремальних ситуацій, контроль граничних умов, контроль математичної замкнутості, контроль фізичного сенсу, контроль стійкості моделі.

Контроль розмірностей зводиться до перевірки виконання правила, відповідно з яким прирівнюватись і складатись можуть тільки величини однакової розмірності.

Контроль порядків спрямований на спрощення моделі. При цьому визначають порядки величин, які складають, і явно малозначні доданки відкидають.

Контроль характеру залежностей зводиться до перевірки напрямку і швидкості зміни одних величин при зміні інших. Напрямки і швидкість, що виходять з математичної моделі, мають відповідати фізичному сенсу задачі.

Контроль екстремальних ситуацій зводиться до перевірки наочного сенсу вирішення при наближенні параметрів моделі до нуля чи нескінченності.

Контроль граничних умов полягає в тому що перевіряють відповідність математичної моделі граничним умовам, які виходять із смислу задачі. При цьому перевіряють, чи дійсно граничні умови поставлені і враховані при побудові функції, яку знаходять, і що ця функція насправді задовольняє таким умовам.

Контроль математичної замкнутості зводиться до перевірки того, що математична модель дає однозначне вирішення.

Контроль фізичного сенсу – це перевірка фізичного сенсу проміжних співвідношень, використаних при побудові математичної моделі.

Контроль стійкості моделі складається в перевірці того, що варіювання вихідних даних в межах наявних даних про реальний об'єкт не приведе до суттєвої зміни вирішення.

6.5 Оптимізаційні моделі

Критерійний підхід полягає у виборі значення керуючої змінної на множину допустимих значень шляхом мінімізації або максимізації деякої кількісної оцінки, що називають ***критерієм***.

Використання критериального підходу направлено на вирішення цілого ряду оптимізаційних завдань. ***Оптимізація*** означає вибір з нескінченної множини можливостей найкращого рішення. Цей вибір здійснюють відповідно до прийнятих критеріїв.

Критерій – це ознака, яка дозволяє класифікувати процеси, характеристики з точки зору поставленої мети. Кількісне вираження ознаки називають ***показником***.

Оцінку оптимізації проводять за критерієм оптимальності (оптимізації).

Критерій оптимальності – це деякий показник, що має економічний, технічний або інший зміст та служить формалізацією конкретної мети дослідження (управління) і виражений за допомогою цільової функції через фактори моделі.

Цільова функція – це математичний вираз, що зв'язують між собою керовані і некеровані змінні.

Критерійний підхід має той недолік, що застосування його для синтезу управлінь у складній ієрархічній системі, якою є транспортна система, вимагає використання процедури узгодження рішень, що значно ускладнює процес побудови моделі управління. Однак для простих випадків цей підхід є цілком прийнятним.

Складність вибору належного критерію полягає в тому, що на практиці в задачах оптимізації та управління мають справу з багатьма критеріями, які найбільш часто бувають суперечливими.

Математично правильна постановка задачі оптимізації передбачає наявність тільки одного критерію. Найбільш часто вибирають якийсь один критерій, а для інших встановлюють порогові гранично-припустимі значення. Іноді застосовують змішані критерії, що представляють собою функцію від первинних параметрів.

На підставі обраного критерію оптимальності встановюють залежність критерію оптимізації від параметрів моделі досліджуваного об'єкта (процесу).

6.6 Імітаційне моделювання

Загальноприйнятого визначення імітаційної моделі немає. В. Н. Бусленко визначає імітаційну модель як модель, у якій тим чи іншим способом імітують випадкові процеси. К. Шенон під імітаційним моделюванням розуміє процес конструювання моделі реальної системи і постановки експериментів на цій

моделі з метою зрозуміти поводження системи або оцінити різні стратегії, що забезпечують функціонування даної системи.

Найчастіше під ***імітаційною моделлю*** розуміють програму, що у процесі реалізації її на ЕОМ дозволяє імітувати поводження реальної системи в різних умовах.

Застосування імітаційного моделювання є доцільним при виконанні кожної з умов:

– експерименти з реальною системою є неможливими в результаті порушення нормальної роботи системи чи при неможливості дослідження альтернативних варіантів її поведінки;

– важко забезпечити підтримку тих самих умов при кожному повторенні експерименту;

– для отримання статистично значимих результатів необхідні великі витрати часу і засобів;

– не існує закінченої математичної постановки даної задачі і розроблених аналітичних методів її вирішення або математичні методи настільки трудомісткі, що імітаційна модель дає більш простий спосіб вирішення задачі.

Конструювання імітаційної моделі починають з побудови статичної моделі об’єкта. Таку модель представляють у вигляді логічної блок-схеми, органограми, технологічної карти або технологічної діаграми.

Процес переходу від блок-схеми до імітаційної моделі системи включає два етапи. Спочатку модель системи представляють у вигляді діаграми причинно-наслідкових зв’язків і орієнтованого графа, у вершинах якого вказують параметри моделі, а напрямки дуг показують, що зміна одного параметра викликає зміну іншого параметра. Далі дуги графа навантажують функціональними залежностями чи вхідними діями, під впливом яких здійснюється перехід з однієї вершини графа до іншої.

Задаючи правила переходів і взаємодії автоматів, можна цілком описати поведінку імітаційної моделі.

У процесі перетворення блок-схеми в імітаційну модель необхідно визначити призначення моделі, які компоненти мають бути включені в її склад, параметри і змінні, функціональні співвідношення та ін. До складу імітаційної моделі включають усі компоненти системи, що впливають як позитивно, так і негативно на ефективність її роботи.

Вирішення питання, які компоненти необхідно включати, а які виключати, визначають прийнятим рівнем деталізації чи кількістю перемінних і параметрів, що входять у модель.

Отримані описування функціональних зв’язків, поведінки компонентів і системи в цілому переводять на будь-яку універсальну алгоритмічну мову

програмування, що потім використовують при проведенні машинного експерименту на ЕОМ.

Алгоритм процесу імітації може бути представлений у вигляді ланцюжка елементарних кроків чи дій (рис. 6.5):

1. ***Визначення системи.*** Установлюють границі системи, визначають обмеження на параметри, визначають перемінні, встановлюють критерії оцінки.

2. ***Формування моделі.*** У результаті процесів спрощення й абстрагування реальний об'єкт чи система заміняються деякою логічною схемою.

3. ***Підготовка даних.*** Відбирають і представляють у відповідній формі ті вихідні дані, що є найбільш суттєвими для реалізації моделі.

4. ***Трансляція моделі.*** На відповідній мові програмування складають програму, що дозволяє імітувати динамічні процеси системи, що моделюється.

5. ***Оцінка адекватності.*** За результатами, отриманими після реалізації програми на ЕОМ, робиться підсумок про коректність висновків про реальну систему, одержаних на основі моделі.

6. ***Стратегічне планування***. Складання загального плану проведення експериментів з моделлю для отримання необхідної інформації про систему.

7. ***Тактичне планування.*** Відповідно зі стратегічним планом визначають способи проведення кожної серії експериментів.

8. ***Експеримент.*** Прогін моделі на ЕОМ з метою одержання відповідей на поставлену задачу.

9. ***Інтерпретація.*** За даними, отриманими на моделі, формують підсумки і висновки про діяльність реальної системи.

10. ***Реалізація.*** Практичне використання моделі та результатів моделювання.

11. ***Документування.*** Реєстрація ходу здійснення проекту та його результатів, а також документування процесу створення і використання моделі.

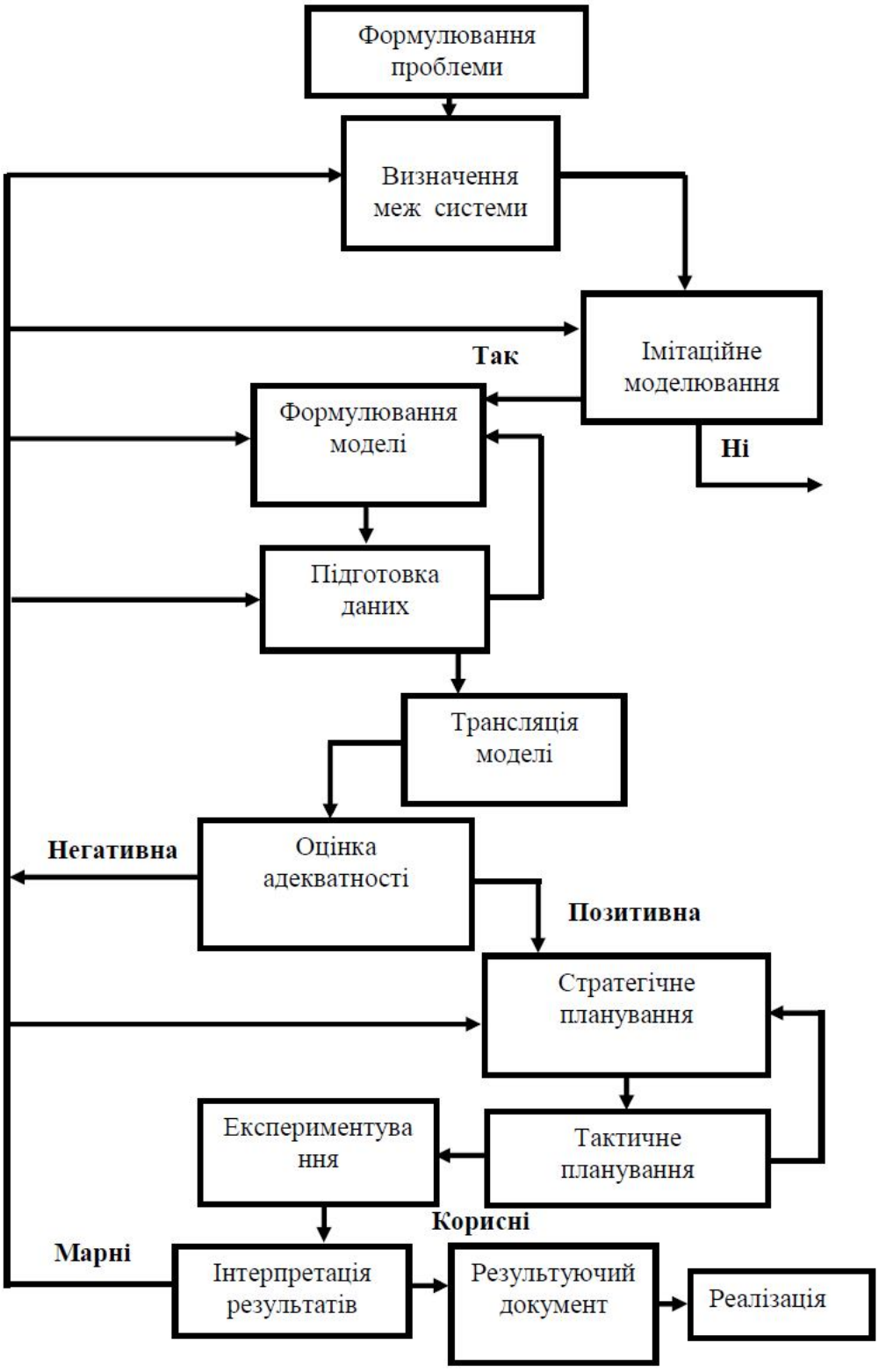

Рисунок 6.5 – Схема алгоритму процесу імітації

7 ПРОГНОЗУВАННЯ В НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

7.1 Динамічні ряди чи ряди розвитку

Мінливість у стані об'єктів дослідження виявляється не тільки у статичній формі, тобто у формі варіацій, але й як процес, що відбувається в часі і просторі. У таких випадках вибіркова сукупність групується не у варіаційні ряди, а залежно від часу, простору чи взаємної спряженості ознак, складає так звані динамічні ряди або ряди розвитку.

Динамічним рядом (рядом розвитку) називають послідовність спостережень, що зазвичай впорядкована за часом (хоча можливо впорядкування й за іншими параметрами).

Для рядів розвитку характерно, що вони виражають залежність між змінними величинами X і Y, яка може бути тільки однобічною. Так, якщо під X розуміють час, тоді Y змінюється залежно від фактора часу, але час не знаходиться в залежності від Y.

Обробка рядів динамічної мінливості вимагає особливого підходу і методів, що мають відповідати змісту досліджуваних явищ. Ці методи звичайно зводяться до різних прийомів усереднення варіюючих даних, вираження процесу коефіцієнтами, математичними рівняннями і графіками. Такими способами можливо виявити найбільш стійке і типове в кожному явищі, тобто тенденції в його розвитку. Це дозволяє надалі передбачати розвиток ознак у заданих умовах.

У практиці досить часто виникає необхідність вимірювання темпів і закономірностей розвитку.

У найпростіших випадках за показник швидкості зміни варіюючої ознаки приймають різницю між наступним і попереднім значеннями ознаки за визначений проміжок часу. Цю різницю називають ***абсолютним приростом***. ***Відносний приріст*** в одиницю часу обчислюють за формулою Ч. Майнота:

$$W = \frac{100(V_2 - V_1)}{V_1}\%, \qquad (7.1)$$

де W – величина відносного приросту ознаки в одиницю часу; V_1, V_2 – величини ознаки на початку і в кінці періоду, що враховується.

7.2 Методи прогнозування

Для обчислення середніх збільшень чи приросту ознаки поряд з іншими показниками часто використовують ***середню геометричну*** $(\bar{x}_g)$. Цей показник

відноситься до розряду ступінних середніх і являє собою корінь *n*-го ступеня з добутку всіх членів даного ряду, тобто

$$\bar{x}_g = \sqrt[n]{x_1 x_2 \ldots x_n}. \tag{7.2}$$

Середня геометрична завжди трохи менше середньої арифметичної. Цю характеристику рядів динаміки застосовують лише тоді, коли ці ряди діють за законом геометричної прогресії. Якщо ж тенденція розвитку різко відхиляється від геометричної прогресії, середню геометричну застосовувати не можна.

Як і всякий емпіричний матеріал, результати вимірювань, що складають динамічний ряд, включають у себе не тільки типове, яке характеризує дане явище, але й елементи випадкового порядку, що спотворюють правдиву картину закономірності, яка спостерігається. При цьому ряд динаміки описують такими формулами:

$$x_t = \xi(t) + \varepsilon(t), \tag{7.3}$$

чи

$$x_k = \xi_k + \varepsilon_k, \tag{7.4}$$

де $\xi(t)$ – деяка невипадкова функція часу, яку називають трендом; $\varepsilon(t)$ – випадкова величина (випадковий компонент) з нульовою середньою та дисперсією $S^2[\varepsilon(t)]$, k – номер вимірювання.

Функції $\xi(t)$ і ξ_k визначають загальну тенденцію розвитку досліджуваного явища. Для того щоб більш-менш точно виразити математичну закономірність (тенденцію) розвитку, потрібно усунути випадкові коливання динамічного ряду, знайти в ньому найстійкіші точки, тобто типізувати його. Для цього використовують задачу вирівнювання чи згладжування рядів розвитку, яку вирішують способом усереднення емпіричних даних. Усереднення таких даних виконують трьома методами: графічним, арифметичним, аналітичним.

Сутність ***графічного методу*** зводиться до наступного. Після того, як емпіричний ряд нанесено на графік, на око визначають серединні точки розвитку. Потім ці точки з'єднують прямою лінією (чи пунктиром), і в результаті виходить вирівняна крива розвитку. Недолік цього способу полягає в тому, що він значною мірою залежить від індивідуальності дослідника. Тому там, де потрібна велика точність, вдаються до інших методів вирівнювання динамічних рядів.

Більш точний метод ***ковзної середньої.*** Сутність його зводиться до послідовного обчислення середніх арифметичних із двох чи трьох сусідніх

значень даного ряду. З'єднання цих середніх значень на графіку дає вирівняну криву розвитку. Даний метод простий, і ним зручно користатись, коли емпіричний ряд представлений великим числом значень і втрати двох із них (крайніх) помітно не позначаться на його загальній структурі. Цінність цього методу полягає також і в тому, що він дозволяє себе модифікувати: усереднені значення можна одержувати з двох, трьох і більшого числа емпіричних значень ряду.

В основі ***аналітичний методу*** вирівнювання емпіричних рядів розвитку лежить припущення, що розглянутий ряд динаміки має деяку закономірність, яка може бути виявлена кривою, проведеною через конкретні точки цього ряду. Сутність його полягає в одержанні за допомогою різних методів оцінки детермінованої складової $\xi(t)$ чи ξ_k. Найчастіше для оцінки детермінованої складової використовують: метод найменших квадратів, метод кінцевих різностей, метод поліномів Лагранжа, метод авторегресії, метод експонентного згладжування, методи гармонійного аналізу, методи математичного програмування тощо.

Як детермінований складник (***модель тренда***) використовують лінійні, квадратичні, ступінні, показові, експонентні, логістичні функції, кубічні сплайни та ін. Основою для вибору кривої, що описує тенденцію, є всебічний теоретичний аналіз сутності досліджуваного явища. Якщо немає яких-небудь теоретичних розумінь для підбору вигляду функції, тоді її вибір у кожному конкретному випадку здійснюють за декількома критеріями, наприклад за дисперсією, кореляційним відношенням тощо. В аналітичному вирівнюванні динамічних рядів час чи номер вимірювання розглядають як незалежні перемінні, а рівні ряду виступають як функції цієї незалежної перемінної.

Можливість застосування тієї чи іншої функції для описування даних спостережень чи експерименту оцінюють методом ***вирівнювання.*** Сутність цього методу зводиться до такого:

1. За даними спостережень будують графік залежності $\xi_t = f(t)$ чи $\xi_k = f(k)$.

2. Побудований графік порівнюють з графіками різних функцій (табл. 7.1). Найбільш схожі формули (за зовнішнім виглядом графіків) використовують для подальшої обробки емпіричних даних.

3. З таблиці 7.1 обирають величини, що мають вирівнюватись в пряму лінію у випадку застосування даної формули.

4. Розрахувавши ці величини за даними спостережень і побудувавши графік залежності між ними, визначають формулу, для якої розраховані величини найбільшою мірою укладаються на пряму лінію. Цю формулу надалі використовують для апроксимації даних спостережень чи експерименту.

Таблиця 7.1 – Найбільш вживані емпіричні формули

№ з/п.	Формула	Вирівнювання прямою
1	$\xi_k = ak^b$	$X = \lg k$ і $Y = \lg \xi_k$
2	$\xi_k = ae^{bk}$	k і $Y = \lg \xi_k$
3	$\xi_k = ak^b + c$	Якщо b задано, вирівнюють $X = k^b$ і ξ_k Якщо b невідомо, вирівнюють $X = \lg k$ і $Y = \lg(\xi_k - c)$, де $c = \frac{\xi_{k1}\xi_{k2} - \xi_{k3}^{\ 2}}{\xi_{k1} + \xi_{k2} - 2\xi_{k3}}$
4	$\xi_k = ae^{bk} + c$	Вирівнюють $Y = \lg(\xi_k - c)$ і k, визначивши спочатку $c = \frac{\xi_{k1}\xi_{k2} - \xi_{k3}^{\ 2}}{\xi_{k1} + \xi_{k2} - 2\xi_{k3}}$
5	$\xi_k = ak^2 + bk + c$	Якщо вибрати на графіку заданої функції якусь точку (k_1, ξ_{k1}), тоді вирівнюють k і $Y = \frac{\xi_k - \xi_{k1}}{k - k_1}$. Якщо задані значення k утворюють арифметичну прогресію з різністю h, тоді вирівнюють $Y = \Delta\xi_k$ і k. В обох випадках після визначення a і b знаходять c із рівняння $\sum \xi_k = a\sum k^2 + bk + nc$, де n - число заданих значень k, за якими проводять сумування
6	$\xi_k = (\frac{A}{1+10^{a+bk}}) + C$	Вирівнюють $\lg \xi_k$ і $(a + bk)$
7	$\xi_k = \frac{1}{ak^2 + bk + c}$	Із введенням нової перемінної $\overline{\xi}_k = \frac{1}{\xi_k}$, цей випадок зводиться до формули 5
8	$\xi_k = a + \frac{b}{k} + \frac{c}{k^2}$	Із введенням нової перемінної $\overline{k} = \frac{1}{k}$, цей випадок зводиться до формули 5
9	$\xi_k = ak^b e^{ck}$	Якщо значення k утворюють арифметичну прогресію з різністю h, тоді вирівнюють $Y = \Delta \lg \xi_k$ і $X = \Delta \lg k$.. Якщо значення k утворюють геометричну прогресію зі знаменником q, тоді вирівнюють $Y = \Delta_1 \lg \xi_k$ і k

Оцінку постійних коефіцієнтів моделі здійснюють за ***методом найменших квадратів***. Цей метод запропонував К. Гаус у 1806 р. Метод базується на першій теоремі про властивості середньої арифметичної.

Відповідно до цієї теореми сума квадратів відхилень варіант від середньої арифметичної є величина найменша. Цю властивість використовують для знаходження найбільш ймовірних усереднених значень цих величин. У цьому й полягає сутність методу найменших квадратів.

Обробку емпіричних даних за способом найменших квадратів здійснюють так:

1. Виходячи з геометричного місця точок двох перемінних $\xi_к$ і k, підбирають відповідне рівняння, що досить точно виражає залежність між змінними величинами. Якщо ця залежність відрізняється від прямолінійної, тоді рівняння, що її виражає, логарифмуванням можна перетворити в рівняння прямої лінії.

2. У вихідне рівняння підставляють попарно емпіричні дані й одержують систему нормальних рівнянь.

3. Вирішують спільно отримані рівняння і визначають їхні параметри (коефіцієнти).

4. Оцінюють статистичну значимість коефіцієнтів.

5. Підставивши знайдені значення параметрів у загальне рівняння функції, одержують емпіричне рівняння, що виражає залежність між перемінними $\xi_к$ і k.

6. Підставляючи в емпіричне рівняння значення перемінної k, знаходять відповідне середнє значення іншої перемінної ξ_k. Ц такий спосіб виходить усереднений, чи вирівняний, ряд значень, який називають також теоретичним рядом розвитку.

7. Перевіряють відібрану математичну модель на адекватність.

Для вибору з числа порівнюваних рівнянь і, отже, для відсівання чи дискримінації гірших, спочатку обчислюються дисперсії апроксимації (які називають також помилками неадекватності) для кожного з порівнюваних рівнянь за формулою

$$S^2(\xi_k)_{an} = \sum_{k=1}^{m} \frac{(\xi_{кэ} - \xi_{кр})^2}{N - d - 1}, \qquad (7.5)$$

де $S^2(\xi_k)_{an}$ – дисперсія апроксимації; $\xi_{кэ}, \xi_{кр}$ – емпіричне і розрахункове значення функції відгуку; N – повний обсяг вибірки (число іспитів); d – число значущих коефіцієнтів розрахункового рівняння; 1 – ставиться для того, щоб оцінка не була зміщеною.

Дискримінацію математичних моделей виконують попарним порівнянням дисперсій двох порівнюваних рівнянь.

При цьому висувають дві гіпотези:

– порівнювані дисперсії однорідні, тобто різниця між ними незначуща (нульова гіпотеза);

– порівнювані дисперсії неоднорідні, тобто різниця між ними значуща.

Дискримінацію порівнюваних моделей (рівнянь) здійснюють за допомогою критерію Фішера, який розраховують за формулою

$$F_p = \frac{S^2(\xi_k)_б}{S^2(\xi_k)_м}, \tag{7.6}$$

де F_p – розрахункове значення критерію Фішера; $S^2(\xi_k)_б, S^2(\xi_k)_м$ – більше і менше значення дисперсій апроксимації.

Розрахункове значення критерію Фішера порівнюють з табличним F_T. Табличне значення критерію Фішера визначають як функцію рівня значимості α, числа ступенів свободи більшої дисперсії k_1, числа ступенів свободи меншої дисперсії k_2, повного обсягу вибірки, за якою обчислена велика дисперсія n_1 і повного обсягу вибірки, за якою обчислена менша дисперсія.

Якщо $F_p > F_T$, тоді різниця між дисперсіями значуща. При $F_p \le F_T$ – незначуща й обидві моделі рівноцінні.

Статистичну значимість коефіцієнтів моделі (кожного окремо) перевіряють за допомогою критерію Стьюдента. Розрахункове значення критерію Стьюдента визначають за формулою

$$t_p = \frac{|b_j|}{S^2(b_j)}, \tag{7.7}$$

де $|b_j|$ – абсолютне значення оцінюваного коефіцієнта; $S^2(b_j)$ – дисперсія коефіцієнта моделі,

$$S^2(b_j) = \frac{1}{NN_k} S^2_{вос}(\xi_k); \tag{7.8}$$

де $S^2_{вос}(\xi_k)$ – дисперсія відтворюваності всього експерименту;

N – число перерізів часового ряду;

N_k – обсяг вибірки в *к*-тому перерізі.

Дисперсію відтворюваності всього експерименту розраховують так:

$$S^2_{вос}(\xi_k) = \frac{1}{m_k}\sum_{k=1}^{m_k} S_k^2, \qquad (7.9)$$

де m_k – число перерізів часового ряду (число построчних дисперсій, які сумуються).

Розрахункове значення t-критерію порівнюють з табличним t_T, яке визначають залежно від необхідного рівня значимості α і числа ступенів свободи $\nu = N(N_k - 1)$. Якщо виявиться, що $t_p \geq t_T$, тоді коефіцієнт значущий. У випадку $t_p < t_T$ – коефіцієнт незначущий. Цей коефіцієнт може бути відкинутий, а значення інших коефіцієнтів визначені заново. У випадку застосування ортогонального планування експерименту незначущий коефіцієнт може бути відкинутий без перерахування інших.

Щоб перевірити гіпотезу про адекватність математичного описування експериментальним даним, досить оцінити відхилення величини ξ_{kp}, передбаченої за отриманим рівнянням, від емпіричних даних $\xi_{кэ}$ у тих самих перерізах часового ряду. Оцінку відхилень здійснюють за допомогою *F*-критерію Фішера, який розраховують за формулою

$$F_p = \frac{S^2_{ад}}{S^2_{вос}(\xi_k)}, \qquad (7.10)$$

де $S^2_{ад} = \frac{N_k}{N-d}\sum_{k=1}^{N}(\xi_{kэ} - \xi_{кр})^2$; d – число членів полінома.

Табличне значення критерію Фішера F_T визначають для заданого рівня значимості α і числа ступенів свободи $\nu_1 = N - d$, $\nu_2 = \nu_3 = N(N_k - 1)$.

Якщо $F_p \leq F_T$ – модель адекватна, при $F_p > F_T$ – модель неадекватна.

У тому випадку, коли гіпотезу про адекватність відкидають, необхідно переходити до більш складної форми математичного описування.

Вирівнювання ряду динаміки за допомогою полінома Лагранжа припускає, що рівні ряду не мають різких регулярних коливань. Число членів полінома і його ступінь залежать від кількості членів ряду, узятих для визначення тенденції. Застосування формули Лагранжа пов’язано з великим числом обчислень, що дуже складно для рядів динаміки з великим числом членів.

Прогнозування може розглядатись як завдання оцінювання за даною послідовністю чисел, узятих з якого-небудь часового ряду, наступних значень

того ж ряду. У практиці прогнозування широко поширені екстраполяційні, системно-структурні й асоціативні методи. У групу екстраполяційних методів включають методи найменших квадратів, експонентного згладжування, адитивного згладжування та імовірнісного моделювання. До групи системно-структурних методів належать методи фукнкціонально-ієрархичного моделювання, методи мережного моделювання і матричний метод. Асоціативні методи включають різноманітні методи імітаційного моделювання.

Основним інструментом усіх методів прогнозування є схема екстраполяції, що включає вивчення часових рядів та їхнє упорядкування.

Кожне дискретне значення часового ряду звичайно представляють у вигляді суми

$$x_k = \xi_k + \varepsilon_k, \tag{7.11}$$

де ξ_k – детермінована складова досліджуваного процесу (***тренд***); ε_k – адитивна випадкова перешкода, що має нормальний закон розподілу з нульовим математичним очікуванням і дисперсією S_ε^2; k – номер вимірювання.

7.3 Верифікація прогнозів

Верифікація – це процедура оцінки вірогідності прогнозу. Верифікацію прогнозів чи прогнозних моделей можна здійснювати такими способами: прямою верифікацією, непрямою верифікацією, консеквентною верифікацією, дублюючою верифікацією, способом «адвоката диявола», інверсною верифікацією. Крім того верифікацію може здійснювати способом мінімізації систематичних помилок, або як перевірку виконання вимог урахування всіх джерел помилок з метою їхньої мінімізації.

1. ***Пряма верифікація*** вимагає отримання того ж значення прогнозу, що і верифікована величина, але тільки іншим методом прогнозування.

2. ***Непряма верифікація*** – підтвердження прогнозу посиланням на приведений у літературі прогноз того ж об’єкта.

3. ***Консеквентна верифікація*** – одержання значення верифікованого прогнозу способом логічного чи математичного виведення наслідків із уже відомих прогнозів.

4. ***Дублююча верифікація*** – одержання значення верифікованого прогнозу з іншого прогнозу, що є відповіддю на те саме питання, але сформульоване іншим способом.

5. ***Верифікацію способом «адвоката диявола»*** здійснюють у такий спосіб: призначають два-три опоненти – «адвокати диявола», перед якими

ставлять завдання привести аргументи і доводи на користь того, що верифікований прогноз не здійснюється чи нереальний.

6. ***Інверсну верифікацію*** проводять тоді, коли є сукупність прогнозів об'єктів по роках, починаючи з дійсного часу і до деякого моменту в майбутньому. Інверсна верифікація зводиться до екстраполяції назад у часі. Зіставляючи значення прогнозів, отриманих інверсною екстраполяцією з фактичними значеннями стану об'єкта в ці ж роки ретроспекції, можна зробити висновок про вірогідність отриманих прогнозів.

7. ***Верифікація шляхом мінімізації систематичних помилок*** складається з перевірки урахування джерел систематичних помилок у процесі виконання прогнозів. Класифікація джерел помилок представлена на рисунку 7.1.

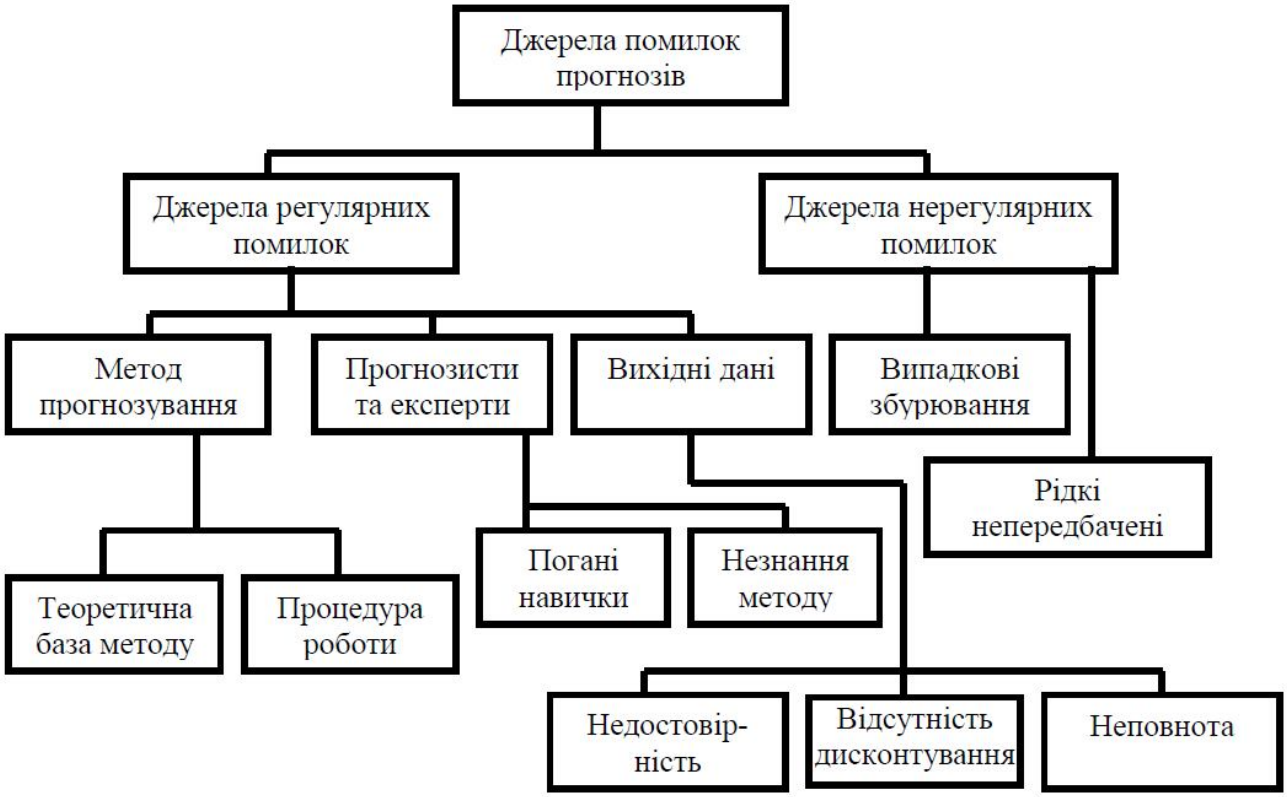

Рисунок 7.1 – Класифікація джерел помилок прогнозів

Алгоритм верифікації прогнозу включає 12 етапів:

1. Проведення загального аналізу прогнозу і формулювання його невідповідностей.

2. Здійснення інверсного прогнозу, проведення конкретного аналізу і остаточне формулювання невідповідностей.

3. Пошук дублюючих прогнозів, встановлення джерел помилок в основному прогнозі.

4. Встановлення основних характеристик дублюючих прогнозів.

5. Розробка критеріїв порівняння основного прогнозу з кожним із дублюючих прогнозів.

6. Здійснення порівняння основного прогнозу з дублюючим по заданим критеріям.

7. Виконання порівняльного аналізу основного прогнозу способом спростування спростувань.

8. Виконання порівняльного аналізу надійності методики отримання основного прогнозу.

9. Розробляють вагові коефіцієнти для кожного із локальних критеріїв порівняння.

10. Здійснення зважування результатів порівнянь.

11. Вагові оцінки порівняння сумують.

12. Задають рівень обмежень загальної суми за статистичними дослідами або іншим емпіричним способом. Рівень забезпечує фіксацію наявності в основному прогнозі заданої імовірності.

8 ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

8.1 Аналіз результатів накових досліджень та формування висновків і пропозицій

Оформлення результатів наукового дослідження включає підготовку звіту, доповіді, статті, заявки на передбачуваний винахід, підготовку демонстраційного матеріалу і техніки та ін. Найбільш відповідальною і трудомісткою частиною цієї роботи є літературне оформлення отриманих результатів.

Часто початковий науковець намагається описати хід дослідження, узагальнення, висновки і докази, використовуючи літературні джерела. Під кожну власну думку підбираються пропозиції з літературних джерел. У результаті текст описування виходить рваним, логічно не зв'язаним. Думки викладаються не зрозуміло, не чітко, зустрічаються великовагові фрази, багатослівність, одні поняття підмінюються іншими, губиться індивідуальність стилю викладу.

Краще починати з викладу своїх думок на папері власними словами, якими автор користається у своїй внутрішній мові й лише потім приступати до їхньої літературної обробки.

Перший етап викладу думок на папері називають конструктивно-синтетичним, а другий – критико-аналітичним.

При написанні тексту чималих зусиль вимагає досягнення єдності форми і змісту, що виявляється у стилі викладу результатів наукового дослідження. Стиль – це індивідуальна творча манера науковця.

Однією з найважливіших умов єдності форми і змісту є популярний виклад результатів дослідження. Такий виклад повинен підводити читача до розуміння сутності явища, до глибоких узагальнень. Воно має наштовхувати думаючого читача на нові запитання.

Важливе значення для популярного викладу має композиція рукопису, його структура. Чим чіткіше внутрішній план роботи, тим легше читачу самому розібратися в матеріалах дослідження, сформулювати вже усвідомлені висновки. Весь текст рукопису має бути розчленований за змістом на окремі складові частини, кожна з якої повинна мати свій заголовок.

Текст рукопису в межах складових частин слід поділяти на абзаци, тобто на частини, що починаються з нового рядка. Правильна розбивка на абзаци полегшує читання і засвоєння змісту тексту. Критерієм такого розподілу є зміст написаного. Кожен абзац повинен включати самостійну думку, укладену в одному чи декількох реченнях.

У рукописі слід уникати повторень, не допускати переходу до нової думки, коли перша не отримала повного закінченого вираження. Слід уникати

накопичення непотрібних слів, придаткових слів, тавтологій, повторень тих самих слів в одному реченні. Якщо є необхідність у такому повторенні, слід підшукати інше слово – синонім йому. Якщо ж це неможливо, необхідно прагнути до того, щоб однакові слова були розташовані на визначеній відстані – через один-два абзаци. Повторення в тому самому абзаці одного поняття неминуче веде до порушення ритму викладу.

Науковцеві необхідно володіти умінням вибрати головне й суттєве, не губитися в другорядних деталях. Недосвідчені дослідники вважають, що в текст рукопису слід закладати побільше матеріалу. Насправді краще виключати все зайве, висвітлювати тільки те, що дійсно розкриває зміст досліджуваного питання. Починаючі автори схильні до гри у факти і приклади. Поступово це проходить, і на заміну з'являється уміння бачити факти в їхній сукупності, взаємозв'язку і повторюваності. Гра в думку стає зайвою. Набір слів і фраз, як деякий заповнювач тексту, втрачає свою притягальну силу.

Слід писати стисло, простою і зрозумілою мовою. Потрібно пояснювати і розтлумачувати всі необхідні іноземні слова і терміни. Писати точно, конкретно і популярно, без незрозумілих і відвернених оборотів і словотворень, не прибігаючи до фальшивого спрощення і вульгаризації. Усіма способами необхідно виганяти штампованість і трафаретність, домагатись яскравого, образного, захоплюючого, живого викладу, не допускаючи перебільшеної вигадливості і пихатості. Ясність і стислість викладу – самий вірний шлях до доступності викладу.

При написанні тексту наукової праці завжди виникає запитання про цитати і цитування. ***Цитата*** – це своєрідний вид фактичного матеріалу, частина тексту, запозичена в інших авторів, виписана без змін і узята в лапки. Необхідність у цитатах виникає в трьох випадках: при використанні цінного фактичного матеріалу; при прагненні підкріпити власні думки посиланням на авторитет; при протиставленні своєї точки зору висловленням, з якими не можна погодитись. Кожну цитату необхідно підтверджувати посиланням на джерело.

Часто виникає сумнів при вирішенні запитання, з чого починати написання тексту за підготовленим матеріалом – з вступу або з тієї чи іншої глави, того чи іншого параграфа. Якщо досліджуване запитання з'ясоване достатньою мірою, тоді з чого починати не має значення. Але у будь-якому випадку доцільно починати з першого розділу та ін. Вступ краще писати після оформлення всіх глав, коли всі запитання дослідження з'ясовані і формулювання основних положень роботи одержало остаточне наукове і літературне шліфування.

Досвід багатьох дослідників указує на доцільність підсумовування отриманих результатів наприкінці кожного параграфа чи глави. У таких

підсумкових висновках слід зазначити нове, що дає проведене дослідження з головного питання даного параграфа чи глави.

Диференційоване підсумовування дослідження має велике значення і для дослідника і для читача. Воно допомагає першому стежити за логічним розвитком викладу результатів дослідження, другому – за системою поглядів і аргументацією автора.

Формулювання висновків, пропозицій і рекомендацій з параграфів і глав не скасовують необхідності висновку по роботі в цілому. Отже, такий висновок – особлива глава наукової праці, де в узагальненому вигляді підводять підсумки всього дослідження, формулюють загальні висновки, пропозиції і рекомендації, відзначають запитання, що не знайшли в дослідженні остаточного вирішення і вимагають подальшої розробки. Форма викладу результатів наукового дослідження завжди залежить від його цільової спрямованості.

8.2 Складання звітів з науково-дослідної роботи

Звіт про науково-дослідну роботу викладають відповідно до вимог державних стандартів. Згідно з цими стандартами звіт повинен включати: анотацію і реферат, зміст, вступ, аналітичний огляд вітчизняних і закордонних досліджень по проблемі, текст звіту.

Анотація – це коротка характеристика звіту щодо його змісту, призначення, форми й інших особливостей. Анотація відповідає на запитання: «про що говориться у звіті і для кого він призначений?».

Реферат – це скорочений виклад тексту звіту з основними фактичними зведеннями і висновками. Реферат відповідає на запитання: «що говориться у звіті?».

Зміст у короткій формі розкриває сутність роботи способом позначення основних розділів, параграфів, додатків та інших розділів звіту. Зміст міститься на початку звіту.

Іноді при оформленні наукового звіту виникає необхідність дати ***передмову.*** У ньому викладають зовнішні передумови створення наукової праці: чим викликана його поява, коли і де була виконана робота, організації й особи, що замовили роботу чи зробили сприяння при виконанні роботи.

У ***вступі*** дають постановку основного запитання дослідження, визначають актуальність його вирішення, ставлять мету і завдання дослідження.

Слідом за вступом дають короткий ***огляд літературних джерел*** з розглянутого питання, визначають положення теми дослідження у загальній структурі робіт з розглянутої проблеми. Аналізують переваги і недоліки відомих методів і прийомів вирішення завдання.

В ***основний текст*** звіту включають теоретичні моделі, обґрунтування способу вирішення завдання, методологія експерименту, оцінку адекватності теоретичних положень, висновки. ***Висновки*** повинні відповідати тільки тому матеріалу, що викладений у роботі. Їх оформляють у вигляді коротко сформульованих і пронумерованих тез. У висновках треба йти від часткових до більш загальних і важливих положень.

Наприкінці звіту приводять ***список літературних джерел***. Усі джерела описують у порядку, прийнятому в бібліографії, вони мають бути пронумеровані. У тексті наукової праці посилаються на номер джерела, що ставлять наприкінці речення в квадратних дужках. Список джерел складають або за алфавітом прізвищ авторів, або в хронологічному порядку, або за порядком посилань на них у цій роботі. У випадку алфавітного упорядкування літературних джерел спочатку вказують російські й українські, а потім – іноземні за таким же принципом.

У наукових звітах часто виникає необхідність наприкінці роботи надати ***додатки,*** куди вносять допоміжні таблиці, графіки, додаткові тексти, протоколи, акти впровадження, розрахунки економічного ефекту, інструкції, описи алгоритмів і програм для ПЕОМ, розроблених у процесі дослідження, та інші матеріали. При цьому кожному матеріалу, таблиці графіку привласнюють самостійний порядковий номер.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Венецький И. Г. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе: Справочник / И. Г. Венецький, В. И. Венецкая. – М. : Статистика, 1979. – 447 с.

2. Галушко В. Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте / В. Г. Галушко. – Київ : Высш. шк., 1976. – 232 с.

3. Гаврилов А. А. Моделирование дорожного движения / А. А. Гаврилов. – М. : Транспорт, 1980. – 189 с.

4. Грушко И. М. Основы научных исследований / И. М. Грушко, В. М. Сиденко. – Харьков : Вища школа, 1983. – 224 с.

5. Основы научных исследований / Под ред. В. И. Крутова. – М. : Высшая школа, 1989.– 400 с.

6. Пілющенко В. Л. Наукове дослідження: організація, методологія, інформаційне забезпечення: Навчальний посібник / В. Л. Пілющенко, І. В. Шкрабак, Е. І. Словенко. – Київ : Лібра, 2004. – 344 с.

7. Системологія на транспорті. Підручник у 5 кн. / Під заг. ред. Дмитриченка М. Ф.– Кн. 2: Технологія наукових досліджень і технічної творчості / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін.].– Київ : Знання України, 2007. – 318 с.

8. Системологія на транспорті. Підручник у 5 кн. / Під заг. ред. Дмитриченка М. Ф. – Кн. І: Основи теорії систем і управління / [Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін.]. – Київ : Знання України, 2005. – 344 с.

9. Системный анализ и принятие решений : Словарь-справочник : учеб. пособие для вузов / Под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – М. : Высш. шк., 2004 – 616 с.

Навчальне видання

ПОНКРАТОВ Денис Павлович,
РОСЛАВЦЕВ Дмитро Миколайович,
ДУЛЬФАН Сергій Борисович,
ВОРОНЬКО Віталій Володимирович,
ОЛЬХОВА Марія Володимирівна

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 275 – Транспортні технології (за видами)

Відповідальний за випуск *Т. В. Луценко*

За авторською редакцією

Комп’ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2017, поз. 147Л

Підп. до друку07.03.2019. Формат 60 × 84/16.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 5,9.
Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.