

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра колії та колійного господарства

О.М. Даренський, Д.А. Фаст, Д.О. Потапов

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Конспект лекцій

Харків – 2016

Даренський О.М., Фаст Д.А., Потапов Д.О. Основи наукових досліджень: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 73 с.

У конспекті лекцій висвітлені загальні відомості про науку і про організацію наукових досліджень; існуючі методи і моделі теоретичних і експериментальних досліджень; статистичні методи оцінки вимірювань в експериментальних дослідженнях і перевірка достовірності експериментальних даних; методи підбору емпіричних формул; аналіз теоретико-експериментальних досліджень, формулювання висновків і пропозицій, оформлення звіту та підготовка наукових матеріалів до опублікування.

Конспект лекцій призначено для студентів спеціальності 273 – «Залізничний транспорт» та освітньої програми – «Залізничні споруди та колійне господарство», що вивчають курс «Основи наукових досліджень» денної та заочної форм навчання.

Іл. 13, табл.6, бібліогр. 8 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри колії та колійного господарства 16 травня 2016 р., протокол № 14.

Рецензент

проф. А.А. Плугін

О.М. Даренський, Д.А. Фаст, Д.О. Потапов

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск Фаст Д.А.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 23.06.16 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,5. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Зміст

Вступ.....	
.....	
1 Загальні відомості про науку й про організацію наукових досліджень.....	
...	
1.1 Особливості сучасної науки.....	
1.2 Наука як система знань.....	
1.3 Класифікація й послідовність проведення НДР.....	1
1.4 Методи обґрунтування тем наукових досліджень.....	4
1.5 Організація науково-технічного пошуку.....	6
2 Проведення теоретичних досліджень.....	8
2.1 Мета, завдання і деякі особливості теоретичних досліджень.....	8
...	8
2.2 Методи теоретичних досліджень.....	0
2.3 Моделі досліджень.....	2
3 Проведення експериментальних досліджень.....	5
3.1 Методи експериментальних досліджень.....	5
3.2 Методологія експерименту.....	7
3.3 Розробка плану-програми експерименту.....	8
4 Обробка результатів наукових досліджень.....	1
4.1 Статистичні методи оцінки вимірювань в	

експериментальних дослідженнях.....	1
4.2 Інтервальна оцінка за допомогою довірчої вірогідності...	5
4.3 Визначення мінімальної кількості вимірювань.....	8
4.4 Перевірка достовірності експериментальних даних.....	9
5 Методи підбору емпіричних формул.....	2
6 Аналіз і оформлення наукових досліджень.....	6
6.1 Аналіз теоретично-експериментальних досліджень і формулювання висновків і пропозицій.....	6
6.2 Складання звітів про науково-дослідну роботу.....	8
6.3 Підготовка наукових матеріалів до опублікування.....	1
Список літератури.....	3

Вступ

Для сучасної вищої школи характерне постійне вдосконалювання всієї навчально-виховної, методичної й наукової праці, впровадження прогресивних форм, методів і прийомів навчання й виховання.

Фахівець сьогодні – це вмільний організатор, здатний на практиці застосувати принципи наукової організації праці, що має широку наукову й практичну підготовку, досконало володіє своєю спеціальністю. Він уміє працювати з людьми, цінує колективний досвід. Прислухається до думки товаришів,

критично оцінює досягнуте. І, звичайно, сучасний фахівець – це людина високої культури, широкої ерудиції, взагалі – це справжній інтелігент нового суспільства.

Діяльність фахівця сьогодні протікає в умовах бурхливого відновлення науково-технічних знань, порівняно швидкої зміни техніки й технології. Це потребує від нього систематичного поповнення наукового багажу. Якби людина, що закінчила ВНЗ п'ятнадцять-двадцять років тому, не продовжувала займатися самоосвітою, вона була би в наші дні безнадійно відсталим працівником.

В умовах сучасного технічного прогресу, швидкого розвитку всіх наук, у стінах ВНЗ немає можливості передати студентові весь необхідний запас знань. Необхідна надалі його самостійна робота над підвищенням кваліфікації.

Не випадково на підприємствах і в організаціях уведена система постійного підвищення кваліфікації, при якій кожний фахівець народного господарства кожні п'ять років повинен в тому або іншому вигляді пройти курс підвищення кваліфікації. Обсяг знань, яким повинен володіти фахівець зараз уже перевищує той, який ще не так давно вважали достатнім для інженера. І не випадково на виробництві стає усе більше кандидатів наук, що займають посади майстрів, начальників цехів, головних інженерів, начальників служб, доріг і т. п. З'явилися на виробництві й доктори наук.

І якщо це робиться поки в порядку особистої ініціативи, ймовірно, недалекий той день, коли обіймання певних посад буде пов'язане з вимогою обов'язкової наявності диплома кандидата, тому що зараз по лінії всіх галузей народного господарства складені й затверджені переліки посад, які не можуть обіймати особи, що не мають диплома про закінчення ВНЗ.

Серед завдань, що стоять перед вищою школою, виникло ще одне: готувати інженера-дослідника, здатного самостійно й постійно підвищувати кваліфікацію, здатного працювати не тільки на виробництві або в апараті управління, але й в науково-дослідній галузі, здатного вести наукову працю.

Для цієї мети в навчальні плани ВНЗ уведений курс «Основи наукових досліджень», щоб заохотити студента до методів і навичок дослідницької роботи, ознайомити із

завданнями теоретичного й наукового плану, які стоять перед ним як майбутнім фахівцем і дослідником у галузі спеціальності, до оволодіння якої він готується.

Зараз усе більше студентів беруть участь у роботі наукового студентського товариства. Тут виховуються якості дослідника: працьовитість, творче мислення, здатності до узагальнень. Студент переконується, що наука – не легка справа, а кропітка праця, повсякденна чорнова робота, яка змушує думати, шукати, приймати рішення й разом з тим опиратися на досвід і знання своїх вчителів і колег. Все це важливо для майбутнього фахівця.

Якщо студент здійснив, хоча б невеликий, але самостійний науковий експеримент і досяг практичного результату – це неодмінно дасть добрий діловий, моральний заряд на всю його наступну діяльність.

Освіта, отримана в університеті – це лише база, що вимагає постійного нарощування знань. На цій базі важливе формування прагнення до постійного підвищення кваліфікації. В освоєнні цього завдання вивчення курсу «Основи наукових досліджень» повинно надати допомогу майбутньому фахівцеві.

1 Загальні відомості про науку й про організацію наукових досліджень

1.1 Особливості сучасної науки

Наука – це система знань, яка безперервно розвивається, про об'єктивні закони природи, суспільства й мислення, що у результаті спеціальної діяльності людей і установ створюється й перетворюється в безпосередню практичну силу суспільства.

Мета науки – пізнання законів розвитку природи й суспільства та вплив на природу на основі використання знань для одержання корисних суспільству результатів.

Сучасна наука є двигуном науково-технічного прогресу. Впровадження науки у виробництво виражається у підвищенні продуктивності праці, створенні нових машин й матеріалів, покращенні експлуатаційних показників, надійності й довговічності продукції, зниженні її собівартості.

Особливості сучасної науки:

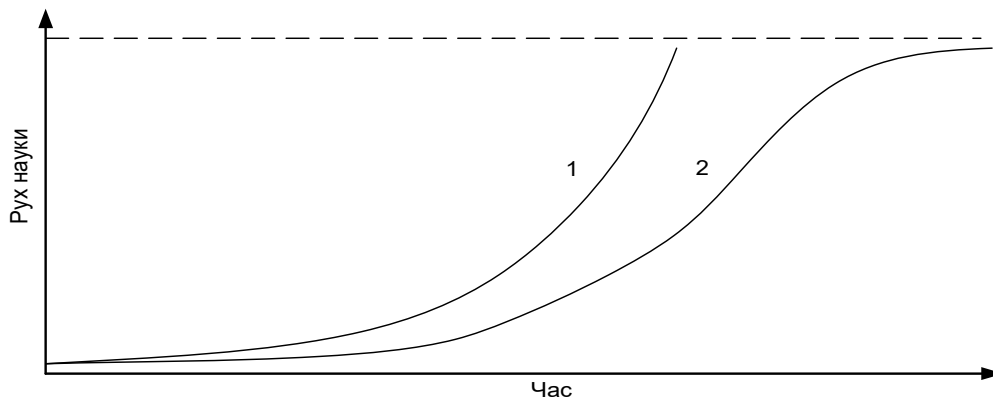
а) бурхливий лавиноподібний розвиток. Тільки за останні 30 років отримано відомостей приблизно 75 % від обсягу знань, накопичених людством за всю його історію.

Через кожні 10-15 років всі показники подвоюються. Тому вважають, що основним законом аналізу науки є експонентний (рисунок 1). Лавиноподібність розвитку науки полягає й у систематичному створенні нових її видів, напрямків, проблем. Виникає дерево науки. Так, останнім часом виникли нові науки – математична кібернетика, обчислювальна техніка, кріогенна техніка, фізико-хімічна механіка, біофізика, біогеохімія, математична економіка, генна інженерія та ін.;

б) важлива особливість науки – її рентабельність. Ставши безпосередньо продуктивною силою, базою технічного прогресу, наука є найефективнішою галуззю, що забезпечує найбільший економічний ефект завдяки впровадженню закінчених розробок;

в) наука стає продуктивною силою суспільства, тому що:

1) багато нових видів виробництва й технологічних процесів спочатку зароджуються в науково-дослідницьких організаціях;



1 – експонента; 2 – ймовірна крива

Рисунок 1 – Закономірності розвитку результатів наукових досліджень у часі

2) скорочуються строки між науковим відкриттям і його впровадженням у виробництво. Наприклад, від відкриття лазера до його застосування пройшло всього кілька років. Це ж можна сказати про атомну енергію, напівпровідники, комп'ютери та ін.;

3) у самому виробництві успішно розвиваються наукові дослідження. Підприємства переростають у науково-промислові комплекси, які включають у свою технологію (поряд з конструюванням і виробництвом продукції) також і наукові розробки;

4) різко піднявся професійний рівень осіб, зайнятих у виробництві.

1.2 Наука як система знань

Не кожне знання є науковим. Не можна визнати науковими ті знання, які отримує людина лише на основі простого спостереження. Ці знання відіграють у житті людей важливу роль, але вони не розкривають сутності явищ, взаємозв'язку між ними, що дозволило б пояснити, чому дане явище протікає так чи інакше, і передбачити подальший його розвиток.

Наука розкриває закономірні зв'язки дійсності, виражає їх в абстрактних поняттях і схемах. Поки закони не відкриті, людина може лише описувати явища, збирати, систематизувати факти, але вона нічого не може пояснити й передбачити.

Розвиток науки йде від збору фактів, їх вивчення й систематизації, узагальнення й розкриття окремих закономірностей до зв'язаної, логічно-послідовної системи наукових знань, що дозволяє пояснити вже відомі факти й передбачити нові (рисунок 2).

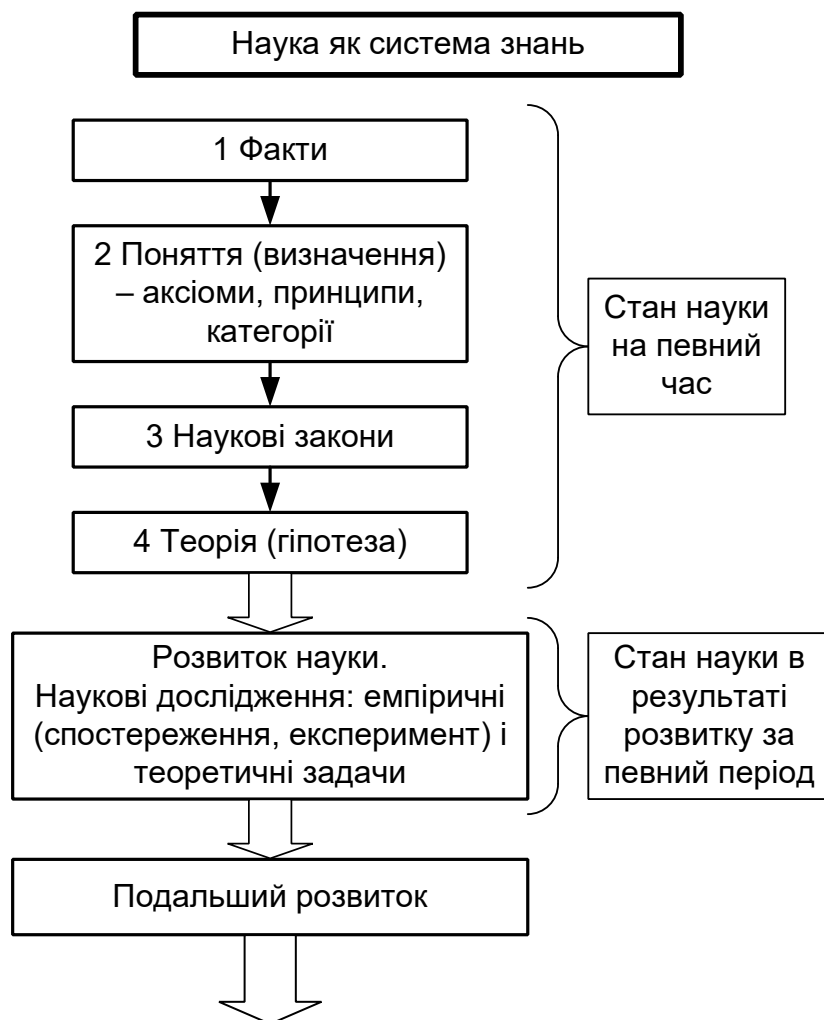


Рисунок 2 – Розвиток науки

1 Процес пізнання починається з накопичення фактів. Але хоча факти, як говорив І.П. Павлов, – це повітря вченого, самі по собі вони ще не наука. Факти стають складовою частиною наукових знань, якщо вони виступають у систематизованому, узагальненому вигляді.

2 Факти систематизують і узагальнюють за допомогою найпростіших абстракцій – понять (визначень), що є важливими структурними елементами науки. Найбільш широкі поняття

називають категоріями. Це найбільш загальні абстракції. До категорій відносяться філософські поняття про форму й зміст явищ, наприклад, у політекономії – це товар, вартість і т. п.

Важлива форма знань – принципи (постулати), аксіоми. Під принципами розуміють вихідні положення будь-якої галузі науки. Вони є початковою формою систематизації знань (аксіоми евклідової геометрії, постулат Бора квантової механіки та ін.).

3 Найважливішою складовою ланкою в системі наукових знань є **наукові закони** – знання, що відображають найбільш істотні, стійкі, повторювані об'єктивні внутрішні зв'язки в природі, суспільстві й мисленні.

4 Найбільш високою формою узагальнення й систематизації знань є **теорія** – вчення про узагальнений досвід, практику, що формулює наукові принципи й методи, які дозволяють узагальнити, пізнати існуючі процеси і явища.

Коли вчені не мають у своєму розпорядженні достатнього фактичного матеріалу, то як засіб досягнення наукових результатів вони використовують гіпотези – науковообґрунтовані припущення, висунуті для пояснення будь-якого процесу, які після перевірки можуть виявитися правильними або помилковими. Гіпотеза виступає часто як чорновий варіант законів, що відкриваються.

Формою здійснення й розвитку науки є **наукове дослідження**, тобто вивчення явищ і процесів, аналіз впливу на них різних факторів, а також вивчення взаємодії між явищами з метою одержати переконливо доведені й корисні для науки й практики рішення з максимальним ефектом.

Мета наукового дослідження – визначення конкретного об'єкта й всебічне, достовірне вивчення його структури, характеристик, зв'язків.

Наукове дослідження має об'єкт, предмет, на пізнання якого воно спрямовано. Об'єктом (предметом) дослідження може бути предмет матеріального світу (наприклад, автомобільна дорога), явище (наприклад, тепло-масообмінні процеси в дорозі), властивості (наприклад, рівність, працездатність дороги), а також зв'язок між явищами й властивостями.

Виконання наукового дослідження нерозривно пов'язано з його методологією, тобто з вихідними керуючими принципами його розвитку.

Методологія – це сукупність методів, способів, прийомів, їх певна послідовність або схема, прийнята при розробці наукового дослідження.

Найбільш загальним методом дослідження є **метод матеріалістичної діалектики**. Наприклад, досліджуючи процес наклепу в металі, необхідно враховувати суперечливість (боротьбу протилежностей) процесів, що протікають при наклепі. З одного боку, у цьому випадку відбувається зміцнення поверхневого шару, поліпшується його однорідність і твердість. З іншого боку – має місце зміна кристалічних решіток, зниження пластичності металу, поява схильності до крихкого руйнування. Це цілком узгоджується із законом єдності й боротьби протилежностей.

У науковому дослідженні наявні емпіричні й теоретичні завдання.

Емпіричні завдання спрямовані на виявлення, точний опис і ретельне вивчення різних факторів явищ і процесів, які досліджуються. У наукових дослідженнях вони вирішуються різними методами пізнання – спостереженням і експериментом.

Спостереження – це метод пізнання, при якому об'єкт вивчають без втручання в нього; фіксують, вимірюють лише властивості об'єкта, характер його зміни. Наприклад, спостереження за концентрацією присадок у мастилi, за процесом зношування та ін.

Експеримент – це найбільш загальний емпіричний метод пізнання, у якому виконують не тільки спостереження і вимірювання, але й здійснюють перестановку, зміну об'єкта дослідження й т. п. У цьому методі можна виявити вплив одного фактора на іншій.

Емпіричні методи пізнання відіграють велику роль у науковому дослідженні. Вони не тільки є основою для підкріплення теоретичних передумов, але часто складають предмет нового відкриття, наукового дослідження.

Теоретичні завдання спрямовані на вивчення й виявлення причин, зв'язків, залежностей, що дозволяють установити

поводження об'єкта, визначити й вивчити його структуру, характеристику на основі розроблених у науці принципів і методів пізнання. У результаті отриманих знань формулюють закони, розробляють теорію, перевіряють факти та ін. Теоретичні пізнавальні завдання формулюють таким чином, щоб їх можна було перевірити емпірично.

У вирішенні емпіричних і особливо теоретичних завдань наукового дослідження важлива роль належить **логічному методу пізнання**, що дозволяє на основі аналітичних трактувань пояснювати явища й процеси, висувати різні пропозиції й ідеї, встановлювати шляхи їх вирішення. Він базується на отриманих фактах і результатах емпіричних досліджень.

Результати наукових досліджень оцінюють тим вище, чим вище науковість зроблених висновків і узагальнень, чим більше вони достовірні й ефективні. Вони повинні створювати основу для нових наукових розробок.

Таким чином, система знань уявляється у вигляді наукових фактів, понять, принципів, гіпотез, законів, теорій, які дозволяють передбачати події й управляти суспільними та виробничими відносинами й продуктивними силами.

Найважливішими вимогами до наукових знань є **можливість перевірки і відтворюваність**. Вони повинні бути стійкими. Швидке їх старіння свідчить про недостатню глибину й узагальнення, точність прийнятих гіпотез і виявлених законів.

Наукові знання систематизовано викладені в книгах, статтях, авторських свідоцтвах і патентах, звітах й конструкторських розробках.

1.3 Класифікація й послідовність проведення НДР

Залежно від джерел фінансування науково-дослідні роботи (НДР) поділяють так:

а) держбюджетні, які фінансуються із коштів державного бюджету;

б) госпдоговірні, які фінансуються відповідно до укладених договорів між організаціями-замовниками й організаціями-виконавцями.

За цільовим призначенням НДР класифікують на три види:

а) фундаментальні дослідження, спрямовані на створення нових принципів. Їх мета – розширити знання суспільства, глибоко зрозуміти закони природи, розробити нові теорії.

б) прикладні дослідження базуються на результатах фундаментальних досліджень і спрямовані на створення нових методів, на основі яких розробляють нове обладнання, нові машини й матеріали, способи виробництва й організації та ін. Вони задовольняють потребу суспільства в розвитку конкретної галузі виробництва;

в) розробки, спрямовані на перетворення прикладних або теоретичних досліджень у технічні пропозиції. Вони не вимагають проведення нових наукових досліджень. Кінцева мета розробок, які проводяться в дослідно-конструкторських бюро (ДКБ), проектних, дослідних виробництвах, – підготувати матеріал для впровадження.

Розглянемо послідовність проведення НДР (рисунок 3), яка складається з шести етапів.

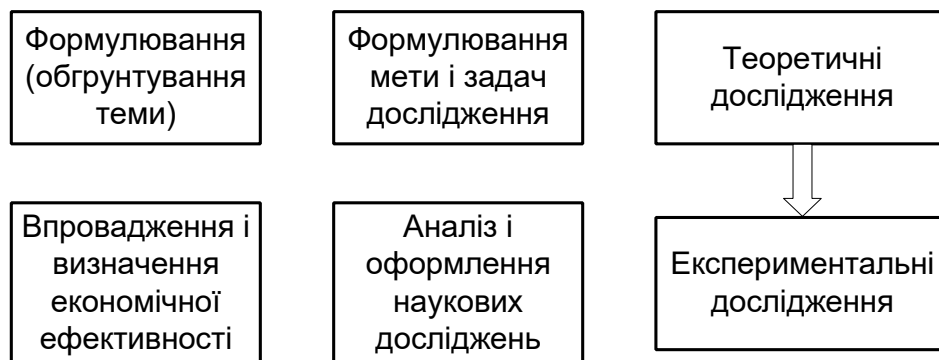


Рисунок 3 – Послідовність проведення НДР

1-й етап. Формулювання теми. Ознайомлення із проблемою, з літературою й класифікація найважливіших напрямків. Формулювання теми дослідження. Розробка технічного завдання. Складання загального календарного плану НДР. Попереднє визначення очікуваного економічного ефекту.

2-й етап. Формулювання (обґрунтування) мети й завдань дослідження. Підбір літератури: монографій, підручників, статей, науково-технічних звітів. Аналіз, зіставлення, критика інформації. Формулювання власних висновків після огляду інформації, мети й завдання дослідження.

3-й етап. Теоретичні дослідження. Вивчення фізичної сутності, виконання пошукових експериментів. Формулювання гіпотез і обґрунтування фізичної моделі. Одержання аналітичних виразів і їх використання.

4-й етап. Експериментальні дослідження. Розробка мети й завдань експерименту. Планування експерименту. Розробка методики програми. Вибір засобів вимірювань. Конструювання приладів, макетів, апаратів, моделей стендів, установок. Проведення експерименту в лабораторії, на дослідних ділянках, підприємствах. Обробка результатів спостережень.

5-й етап. Аналіз і оформлення наукових досліджень. Загальний аналіз теоретично-експериментальних досліджень. Зіставлення експериментів з теорією. Аналіз розбіжностей. Уточнення теоретичних моделей, досліджень і висновків. Додаткові експерименти, якщо буде потреба. Перетворення гіпотези в теорію. Формулювання наукових і виробничих висновків. Складання науково-технічного звіту. Рецензування. Складання звіту.

6-й етап. Впровадження й визначення економічної ефективності. Впровадження результатів дослідження на виробництві. Визначення економічного ефекту. Потім виконуються дослідно-технологічні або дослідно-конструкторські розробки (ДКР) (рисунок 4), що включають у себе сім етапів:

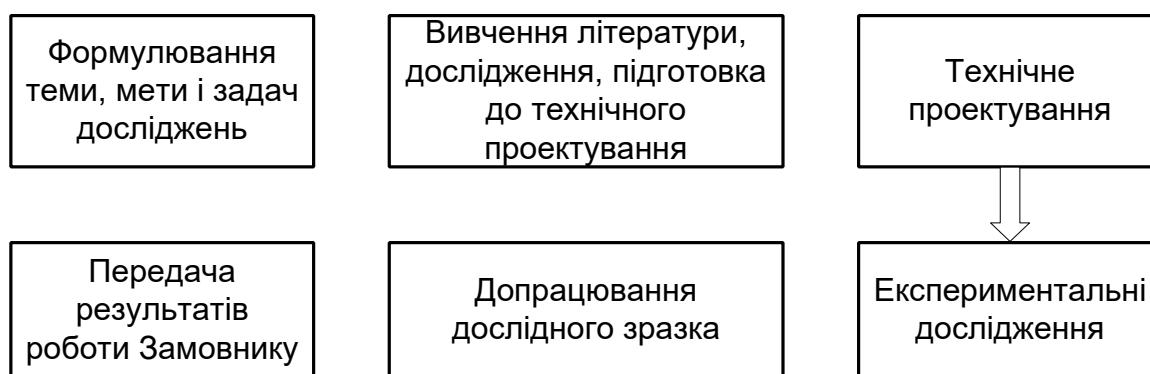


Рисунок 4 – Послідовність проведення ДКР

- а) формулювання теми, мети й завдань дослідження;
- б) вивчення літератури, проведення досліджень і підготовка до технічного проектування експериментального зразка;

в) технічне проектування. Розробка варіантів технічного проекту. Розрахунки. Розробка креслень. виготовлення окремих вузлів, блоків і аналіз їх роботи. Розробка й узгодження технічного проекту. Техніко-економічні обґрунтування проекту;

г) робоче проектування. Розробка з усіма деталями робочого проекту;

д) виготовлення дослідного зразка. Аналіз і контроль технічної документації. Проектування технологічних процесів, виготовлення деталей, блоків і вузлів дослідного зразка, складання їх. Випробування, доведення й регулювання зразка. Стендові й виробничі випробування;

е) допрацювання дослідного зразка. Аналіз роботи вузлів зразка після виробничих випробувань. Заміна окремих вузлів;

ж) передача результатів роботи замовникові.

Загальний цикл робіт, починаючи від фундаментальних досліджень і закінчуючи серійним випуском продукції, становить від п'яти до семи років залежно від галузі й рівня організації робіт. Необхідно прагнути до скорочення тривалості цього циклу.

1.4 Методи обґрунтування тем наукових досліджень

У науково-дослідній роботі розрізняють наукові напрямки, проблеми й теми.

Науковий напрямок – сфера наукових досліджень, присвячених вирішенню будь-яких великих, фундаментальних завдань певної галузі науки. Науковий напрямок містить у собі комплексні програми й проблеми, теми й питання.

Проблема – складне наукове завдання, що охоплює значну галузь дослідження й має перспективне значення. Проблема складається з ряду тем.

Тема – це наукове завдання, що охоплює певну галузь наукового дослідження. Вона базується на численних дослідницьких питаннях. Під науковими питаннями розуміють більш дрібні наукові завдання.

При розробці теми або питання висувається конкретне завдання дослідження – розробити новий матеріал, машину, конструкцію, прогресивну технологію та ін. Вирішення проблем ставить більш загальне завдання – зробити відкриття, вирішити комплекс наукових завдань, що забезпечують прискорення

теоретичних розробок і процесу суспільного виробництва.

Таким чином, тема є структурною одиницею будь-якої форми науково-дослідної роботи.

Після обґрунтування проблеми й встановлення її структури приступають до вибору теми наукового дослідження, що найчастіше більш складно, ніж провести саме дослідження.

Вимоги, що висуваються до теми:

а) актуальність, тобто важливість, що вимагає якнайшвидшого вирішення в цей час. Ця вимога одна з основних. Критерієм актуальності в прикладних темах найчастіше виступає очікуваний економічний ефект. У цьому випадку актуальність оцінюють за формулою

$$K_e = E_n / B_n, \quad (1)$$

де E_n – передбачуваний економічний ефект від впровадження;

B_n – витрати на наукові дослідження;

б) наукова новизна – повинна робити внесок у науку. Це значить, що тема в такій постановці ніколи не розроблялася й у цей час не розробляється, тобто дублювання виключається. Все те, що вже відомо, не може бути предметом наукового дослідження;

в) економічна ефективність і значимість. Будь-яка тема прикладних досліджень повинна давати економічний ефект. Це одна з найважливіших вимог. Вибір теми повинен базуватися на спеціальному техніко-економічному розрахунку.

У ряді випадків при плануванні тем виникає потреба у виборі їх як найбільш перспективних і економічно обґрунтованих. У цьому випадку оцінку народногосподарської необхідності розробки теми необхідно визначати чисельними критеріями, наприклад за допомогою критерію економічної ефективності.

Ефективність науки в розвинених країнах характеризується тим, що показник K_e в них становить 3-10 і більше, тобто на кожен вкладений в неї гривню можна одержати суму прибутку в 3-10 разів більше витрати;

г) відповідність профілю наукового колективу. Кожний

науковий колектив (ВНЗ, НДІ, відділ, кафедра) за сформованими традиціями має свій профіль, кваліфікацію, компетентність. Така спеціалізація, що сприяє нагромадженню досвіду, дає свої позитивні результати – підвищується теоретичний рівень розробок, якість і економічна ефективність, скорочується термін виконання дослідження.

Важливою характеристикою теми є можливість швидкого впровадження її результатів у виробництво.

Обґрунтовуючи тему, науковець повинен добре знати виробництво і його запити.

Більшій ролі набуває критика, дискусії, обговорення проблем і тем. У процесі дискусії виявляються нові, ще не вирішені актуальні завдання різного ступеня складності, обсягу, строків розробки.

Все це створює сприятливі умови для участі студентів у науково-дослідній роботі кафедр. Вибір тем для студентської роботи не являє будь-якої складності.

Неодмінною умовою проведення НДР є перевірка обраних тем на новизну. Мета техніко-економічного обґрунтування – встановити дані про новітні досягнення науки й техніки в нашій країні й за кордоном.

Розробляють загальну методологію проведення досліджень, виділяють етапи, планують одержання кінцевої продукції. Проводять патентний пошук за останні 5-7 років.

1.5 Організація науково-технічного пошуку

Характерною рисою розвитку сучасної науки є бурхливе збільшення нових наукових даних, які одержуються в результаті старіння. У зв'язку із цим вже відома інформація має властивість «старіти». Інтенсивність падіння цінності інформації орієнтовно становить 10 % у день для газет, 10 % на місяць для журналів і 10 % на рік для книг.

Інформаційний пошук з теми проводять із використанням книг, журналів, перекладів, звітів, бюлетенів, дисертацій, патентів, авторських посвідчень та ін.

Пошук містить у собі два етапи: відшукування необхідної інформації й опрацювання матеріалу. Інформаційний пошук може бути ручним, механізованим або автоматизованим. Він

здійснюється за допомогою **універсальної десяткової класифікації (УДК)** документів інформації.

УДК поділяє всі галузі знань на 10 відділів, кожний з яких ділиться на 10 підрозділів, а підрозділ – на 10 дрібних частин. Кожна частина, у свою чергу, деталізується до необхідного ступеня.

Продуктивність опрацювання інформації залежить від розумової працездатності, а вона, у свою чергу, від уміння правильно розподіляти свою роботу в часі, уміло використовувати фізіологічні перерви. Після 1-2 годин роботи рекомендується робити перерви на 5-7 хвилин на фізичні вправи, обтирання водою, на сеанси спеціального подиху та ін. Все це стимулює центральну нервову систему й підвищує працездатність.

Способи запам'ятовування інформації подано нижче.

Механічний – базується на багаторазовому повторенні й завчанні прочитаного. При цьому відсутній логічний зв'язок між окремими фрагментами прочитаного. Є малоефективним.

Сенсовий – базується на запам'ятовуванні логічних зв'язків між окремими фрагментами. При читанні необхідно зрозуміти не окремі елементи, а весь текст у цілому, його зміст, спрямованість, значення. Особливу увагу необхідно звернути на логічні зв'язки. Набагато ефективніше механічного.

Текст зберігається в пам'яті певний час, поступово він починає забуватися. Спочатку після сприйняття інформації процес забування відбувається найбільш швидко, згодом темп його вповільнюється. Так, у середньому через 1 день втрачається близько 25 % заученого, через 5 днів – близько 35 %, а через 10 днів – 40 %.

Повторення – ефективний спосіб запам'ятовування. Може бути пасивним (перечитування кілька разів) і активним (перечитування з переказом).

Прийоми опрацювання науково-технічної інформації подано нижче.

Виписка – короткий зміст окремих фрагментів інформації. Може замінити суцільне копіювання тексту, дозволяє у малому обсязі накопичити велику кількість інформації.

Анотація – коротка характеристика прочитаного з погляду

змісту, призначення, форми. За допомогою анотації можна швидко відновити в пам'яті текст.

Конспект – докладне викладення змісту інформації. Головне - вміти виділити раціональне зерно відповідно до теми, яка досліджується. Конспект повинен бути змістовним, повним і по можливості коротким. Повнота запису означає не обсяг, а все те, що є головним у даній інформації.

2 Проведення теоретичних досліджень

Загальноприйнятої класифікації загальнонаукових методів і прийомів немає. Вона проводиться на основі самих різних підстав. Найбільш вдалим уявляється підхід, відповідно до якого в структурі загальнонаукових методів і прийомів виділяються три рівні («знизу до верху»): емпіричний, теоретичний і загальнологічний.

2.1 Мета, завдання і деякі особливості теоретичних досліджень

Мета теоретичних досліджень – виділення в процесі синтезу знань істотних зв'язків між об'єктом дослідження і навколишнім середовищем, пояснення і узагальнення результатів емпіричного дослідження, виявлення загальних закономірностей і їх формалізація.

Основними завданнями теоретичного дослідження є:

- узагальнення результатів раніше проведених досліджень, знаходження загальних закономірностей шляхом обробки і інтерпретації цих результатів і дослідних даних;
- розповсюдження результатів раніше проведених досліджень на ряд подібних об'єктів без повторення всього об'єму досліджень;
- вивчення об'єкту, не доступного безпосередньому дослідженню;
- підвищення надійності експериментального дослідження об'єкту.

Як вже наголошувалося раніше, теоретичні дослідження

починаються з розробки робочої гіпотези і моделювання об'єкту дослідження і завершуються формуванням теорії.

В основі створення будь-якої моделі лежать допущення, які дозволяють нехтувати незначними чинниками, які істотно не впливають на умову завдання. При цьому прийнята дослідником модель повинна чітко відповідати реальному об'єкту. Але це палиця з двома кінцями: з одного боку, необґрунтовано прийняті допущення можуть спричинити грубі помилки при проведенні досліджень, з іншого – урахування великого числа чинників, що діють на об'єкт, може привести до складних аналітичних залежностей, що не піддаються аналізу. Тому будь-яке теоретичне дослідження виконується приблизно.

Для спрощення досліджуваного об'єкту його розділяють на окремі елементи, розглядають і описують їх взаємозв'язки, а потім об'єднують в модель складного об'єкту. Припустимо, необхідно вибрати розрахункову схему будівлі або споруди складного вигляду. Найбільш простим в цьому випадку рішенням буде розділити всю будівлю на плоскі рами, які, у свою чергу, теж ділимо на окремі елементи (ригелі, колони), і розраховувати кожен елемент окремо на зовнішні дії, які прикладені до реальної споруди. Оскільки реалізація даної розрахункової схеми не враховує багатьох чинників, одержаний проект буде мати підвищену матеріаломісткість, що звичайно йде в запас міцності споруди і не погіршує його характеристик міцності і жорсткості в умовах експлуатації. Проте він не є оптимальним, оскільки веде до значної перевитрати матеріалів. Тому розрахунок складних систем повинен проводитися з урахуванням багатьох чинників, наприклад таких, як дійсна жорсткість вузлів з'єднання колон і ригелів, спільна робота елементів рами, просторова робота рам, урахування можливості перерозподілу зусиль в елементах рами при досягненні в частині з них граничного стану та ін.

Теоретичні дослідження включають декілька характерних етапів:

- а) аналіз фізичної сутності процесів і явищ;
- б) формулювання гіпотези дослідження;
- в) побудова і розробка фізичної моделі;
- г) проведення математичного дослідження;

- д) аналіз і узагальнення теоретичних рішень;
- е) формулювання висновків.

Будь-яке завдання містить таке:

- початкові умови – умови, визначені інформаційною системою;

- вимоги – мета, до якої потрібно прагнути при її вирішенні. Умови і вимоги завдання постійно знаходяться в суперечності, в процесі їх вирішення доводиться неодноразово зіставляти і уточнювати до тих пір, поки не буде отримано рішення задачі.

Процес проведення теоретичних досліджень складається з наступних стадій.

Оперативна стадія включає перевірку можливості усунення технічної суперечності, оцінку можливих змін в середовищі, що оточує об'єкт, аналіз можливості перенесення вирішення задачі з інших галузей знань.

Синтетична стадія включає визначення впливу зміни однієї частини об'єкту на побудову інших його частин, визначення необхідних змін інших об'єктів, що працюють спільно з даними, оцінку можливості застосування зміненого об'єкту по-новому.

Стадія постановки завдання включає визначення кінцевої мети вирішення задачі, перевірку можливості досягнення тієї ж мети іншими засобами, вибір найбільш ефективного шляху вирішення задачі, визначення необхідних кількісних показників.

Аналітична стадія включає визначення ідеального кінцевого результату, виявляє перешкоди, що заважають отриманню ідеального результату, і їх причини, визначає умови, які забезпечують отримання ідеального результату.

2.2 Методи теоретичних досліджень

Метод – це спосіб досягнення мети. До основних наукових методів теоретичного дослідження відносяться наступні:

1 Формалізація – відображення змістового знання в знаково-символічному вигляді. Він базується на розрізненні природних і штучних мов. Вираження мислення природною мовою можна вважати першим кроком формалізації. Природні

мови, як засіб спілкування, характеризуються багатозначністю, багатогранністю, гнучкістю, неточністю, образністю та ін. Це відкрита система, яка безперервно змінюється, постійно набуває нових сенсів і значень.

Подальше поглиблення формалізації пов'язане з побудовою штучних (формалізованих) мов, призначених для більш точного і суворого вираження знання, ніж природна мова, з метою виключення можливості неоднозначного розуміння, характерного для природної мови (мова математики, хімії та ін.). Символічні мови математики та інших точних наук переслідують не тільки мету скорочення запису, що можна зробити за допомогою стенографії. Мова формул штучної мови стає інструментом пізнання і відіграє таку ж роль в теоретичному пізнанні, як мікроскоп і телескоп в емпіричному пізнанні. Використання спеціальної символіки дозволяє усунути багатозначність слів звичайної мови, оскільки у формалізованих міркуваннях кожен символ – суворо однозначний.

Значення формалізації в науковому пізнанні полягає в такому:

- формалізація дозволяє аналізувати, уточнювати, визначати і роз'яснювати (експлікувати) поняття. Буденні уявлення, що виражаються в розмовній мові, хоч і здаються яснішими і очевиднішими з погляду здорового глузду, виявляються невідповідними для наукового пізнання через їх невизначеність, неоднозначність і неточність;

- вона набуває особливої ролі при аналізі доказів. Подання доказу у вигляді послідовності формул, що одержуються з початкових, згідно з точно вказаними правилами перетворення, додає йому необхідної суворості і точності;

- формалізація служить основою для процесів алгоритмізації і програмування обчислювальних пристроїв, а тим самим і комп'ютеризації не тільки науково-технічного, але й інших форм знання.

Головне в процесі формалізації полягає в тому, що над формулами штучних мов можна проводити операції, одержувати з них нові формули і співвідношення. Тим самим операції з думками про предмети замінюються діями із знаками і символами. У цьому сенсі формалізація є логічним методом уточнення змісту думки за допомогою уточнення її логічної

форми. Таким чином, формалізація – це узагальнення форм різних за змістом процесів, абстрагування цих форм від їх змісту. Вона уточнює зміст шляхом виявлення його форми і може здійснюватися з різним ступенем повноти.

2 Аксіоматичний метод – один із способів дедуктивної побудови наукових теорій, при якій:

- формулюється система основних термінів науки (наприклад, в геометрії Евкліда – це поняття точки, прямої, кута, площини та ін.);

- з цих термінів утворюється деяка безліч аксіом (постулатів) – положень, що не вимагають доказів і що є початковими, з яких виводяться всі інші твердження даної теорії за певними правилами (наприклад, в геометрії Евкліда: «через дві точки можна провести тільки одну пряму»);

- формулюється система правил виведення, що дозволяє перетворювати початкові положення і переходити від одних положень до інших, а також вводити нові терміни (поняття) в теорію;

- здійснюється перетворення постулатів за правилами, що дають можливість з обмеженого числа аксіом одержувати безліч доказових положень – теорем. Таким чином, для виведення теорем з аксіом (і взагалі одних формул з інших) формулюються спеціальні правила виведення. Всі поняття теорії (звичайно дедуктивні), окрім початкових, вводяться за допомогою визначень, що виражають їх через раніше введені поняття. Отже, доказ в аксіоматичному методі – це деяка послідовність формул, кожна з яких або є аксіома, або вона виходить з попередніх формул за будь-яким правилом виведення.

Аксіоматичний метод – тільки один з методів побудови наукового знання. Він має обмежене застосування, оскільки вимагає високого рівня розвитку аксіоматизованої змістовної теорії.

3 Гіпотетико-дедуктивний метод. Його суть полягає в створенні системи дедуктивно-зв'язаних між собою гіпотез, з яких виводяться твердження про емпіричні факти.

Цей метод заснований тим самим на виведенні (дедукції) висновків з гіпотез та інших посилок, дійсне значення яких невідомо. Тому висновки тут носять імовірнісний характер. Такий характер висновку пов'язаний ще і з тим, що у формуванні

гіпотези бере участь і здогадка, і інтуїція, і уява, і індуктивне узагальнення, не говорячи вже про досвід, кваліфікацію і талант дослідника. Всі ці чинники майже не піддаються суворо логічному аналізу.

Початкові поняття: гіпотеза (припущення) – положення, що висувається на початку попереднього умовного пояснення явища або групи явищ; припущення про існування деякого явища. Істинність такого допущення невизначена, воно проблематично.

Дедукція (виведення) - це:

а) у найзагальнішому сенсі – це перехід в процесі пізнання від загального до окремого (одиночного), виведення останнього з першого;

б) у спеціальному сенсі – процес логічного виведення, тобто переходу за певними правилами логіки від деяких даних припущень (посилок) до їх наслідків (висновків).

З логічної точки зору, гіпотетико-дедуктивний метод є ієрархією гіпотез, ступінь абстрактності і спільності яких зростає у міру віддалення від емпіричного базису. На самій вершині розташовуються гіпотези, що мають найбільш загальний характер і володіють найбільшою логічною силою. З них, як посилянь, виводяться гіпотези нижчого рівня. На самому нижчому рівні знаходяться гіпотези, які можна зіставити з емпіричною дійсністю.

Різновидом гіпотетико-дедуктивного методу можна вважати математичну гіпотезу, де як гіпотези виступають деякі рівняння, що являють модифікацію раніше відомих і перевірених співвідношень. Змінюючи ці співвідношення, складають нове рівняння, що виражає гіпотезу, яка відноситься до недосліджених явищ. Гіпотетико-дедуктивний метод є не стільки методом відкриття, скільки способом побудови і обґрунтування наукового знання, оскільки він показує, яким саме шляхом можна дійти нової гіпотези. На ранніх етапах розвитку науки цей метод особливо широко використовувався Галілеєм і Ньютоном.

Існують також наступні загальнологічні методи і прийоми пізнання.

1 Аналіз (з грецьк. *analysis* – розкладання) – розділення об'єкту на складові частини з метою їх самостійного вивчення. Застосовується як в реальній (практика), так і в розумовій

діяльності.

Розрізняють такі види аналізу: механічне розчленовування; визначення динамічного складу; виявлення форм взаємодії елементів цілого; знаходження причин явищ; виявлення рівнів знання і його структури та ін. Аналіз не повинен упускати якість предметів. У кожній галузі знання є своя межа розчленовування об'єкту, за яким – перехід в інший світ властивостей і закономірностей (атом, молекула і т.п.). Різновидом аналізу є також розділення класів (множин) предметів на підкласи – класифікація і періодизація.

2 Синтез (з грецьк. *synthesis* – з'єднання) – об'єднання, реальне або уявне, різних сторін, частин предмету в єдине ціле. Це органічне ціле (а не агрегат, механічне ціле), тобто єдність багатовидного.

Синтез – це не довільне, еkleктичне з'єднання вилучених частин, шматків цілого, а діалектичне ціле з виділенням суті. Для сучасної науки характерний не тільки внутрішній, але й міждисциплінарний синтез, а також синтез науки та інших форм суспільної свідомості. Результатом синтезу є абсолютно нова освіта, властивості якої не є тільки зовнішнє з'єднання властивостей компонентів, це також і результат їх внутрішнього взаємозв'язку і взаємозалежності.

Аналіз і синтез діалектично взаємозв'язані, проте деякі види діяльності є переважно аналітичними (наприклад, аналітична хімія) або синтетичними (наприклад, синергетика).

3 Абстрагування. Абстракція (з лат. *abstractio* – відвернення) – це:

- сторона, момент, частина цілого, фрагмент дійсності, щось нерозвинене, одностороннє, фрагментарне (абстрактне);

- процес уявного відвернення від ряду властивостей і відношень явища, що вивчається, з одночасним виділенням в даний момент тих властивостей, які цікавлять суб'єкт, що пізнається (абстрагування);

- абстрагуюча діяльність мислення (абстракція у вузькому сенсі).

Це різного роду «абстрактні предмети» – окремо взяті поняття і категорії («білизна», «розвиток», «мислення» та ін.) та їх системи. Найбільш розвиненими з них є математика, логіка і

філософія.

З'ясування того, які з даних властивостей є істотними, а які другорядними – головне питання абстрагування. Питання про те, що в об'єктивній дійсності виділяється роботою мислення, яке абстрагується, а від чого мислення відволікається, у кожному конкретному випадку залежить, перш за все, від природи предмету, що вивчається, а також від завдань пізнання. В ході свого історичного розвитку наука сходить від одного рівня абстрактності до іншого, вищого. Існують різні види абстракцій.

Абстракції ототожнення, в результаті яких виділяються загальні властивості і відношення предметів, що вивчаються (від решти властивостей при цьому відволікаються). Тут утворюються відповідні їм класи на основі встановлення рівності предметів в даних властивостях або відношеннях, здійснюється урахування тотожного в предметах і відбувається абстрагування від всіх відмінностей між ними.

Ізолююча абстракція – акти «чистого відвернення», виділяються деякі властивості і відношення, які починають розглядатися як самостійні індивідуальні предмети («абстрактні предмети» – «доброта», «білизна» і т. п.).

Абстракція актуальної нескінченності в математиці – нескінченні множини розглядаються як кінцеві. Дослідник відволікається від принципової неможливості зафіксувати і описати кожен елемент нескінченної множини, приймаючи таке завдання як вирішене.

Абстракція потенційної здійсненності – заснована на тому, що може бути здійснене будь-яке, але кінцеве число операцій в процесі математичної діяльності.

Абстракції розрізняються також за рівнями (порядками). Абстракції від реальних предметів – це абстракції першого порядку. Абстракції від абстракцій першого рівня – абстракції другого порядку і т. п. Найвищим рівнем абстракції володіють філософські категорії.

4 Ідеалізація найчастіше розглядається як специфічний вид абстрагування. Ідеалізація – це уявне конструювання понять про об'єкти, що не існують і нездійсненні насправді, але таких, для яких є прообрази в реальному світі.

В процесі ідеалізації відбувається граничне відвернення від

всіх реальних властивостей предмету з одночасним введенням в зміст нових понять ознак, які не реалізуються насправді. В результаті утворюється так званий «ідеалізований об'єкт», яким може оперувати теоретичне мислення при віддзеркаленні реальних об'єктів. В результаті ідеалізації утворюється така теоретична модель, в якій характеристики і сторони об'єкту, що пізнається, не тільки відвернуті від фактичного емпіричного матеріалу, але і шляхом уявного конструювання виступають у більш різкому і повно вираженому вигляді, ніж в самій дійсності.

Прикладами понять, що є результатом ідеалізації, є такі поняття, як «крапка» (не можна знайти в реальному світі об'єкт, що є крапкою, тобто об'єкт без вимірювань); «пряма лінія», «абсолютно чорне тіло», «ідеальний газ». Ідеалізований об'єкт виступає як віддзеркалення реальних предметів і процесів. Утворивши за допомогою ідеалізації у такого роду об'єктах теоретичні конструкції, можна і надалі оперувати з ними в міркуваннях як з реально існуючою річчю і будувати абстрактні схеми реальних процесів, які потрібні для глибшого їх розуміння.

Таким чином, предмети, що ідеалізуються, не є чистими фікціями, які не мають відношення до реальної дійсності, а є результатом вельми складного і опосередкованого її віддзеркалення. Ідеалізований об'єкт представляє в пізнанні реальні предмети, але не за всіма, а лише за деякими жорстко фіксованими ознаками. Він є спрощений схематизований образ реального предмету. Теоретичні твердження, як правило, безпосередньо відносяться не до реальних об'єктів, а до ідеалізованих, пізнавальна діяльність з якими дозволяє встановлювати істотні зв'язки і закономірності, недоступні при вивченні реальних об'єктів, узятих у всьому різноманітті їх емпіричних властивостей і відношень. Ідеалізовані об'єкти – результат різних розумових експериментів, направлених на реалізацію деякого нереалізованого в природі випадку. У розвинених наукових теоріях звичайно розглядаються не окремі ідеалізовані об'єкти та їх властивості, а цілісні системи і структури.

5 Узагальнення – процес встановлення загальних властивостей і ознак предметів. Воно тісно пов'язане з абстрагуванням. Гносеологічною основою узагальнення є

категорії загального і одиничного.

Загальне – філософська категорія, що відображає схожі риси і ознаки, які належать декільком одиничним явищам або всім предметам даного класу, що повторюються.

Необхідно розрізнити два види загального:

а) абстрактно-загальне як проста подібність, зовнішня схожість, поверхнева подібність ряду одиничних предметів (так звана «абстрактно-загальна ознака», наприклад, у всіх людей – на відміну від тварин – наявність вушної мочки). Даний вид загального, виділеного шляхом порівняння, відіграє в пізнанні важливу, але обмежену роль;

б) конкретно-загальне як закон існування і розвитку ряду одиничних явищ в їх взаємодії у складі цілої, як єдність в різноманітті. Даний вид загального виражає внутрішню, глибинну, таку, що повторюється у групи схожих явищ основу – суть в її розвиненій формі, тобто закон. Загальне невідривно від одиничного (окремого) як своєї протилежності, а їх єдність – особлива. Одиничне (індивідуальне, окреме) – філософська категорія, що виражає специфіку, своєрідність саме даного явища (або групи явищ однієї і тієї ж якості), його відмінність від інших. Вона тісно пов'язана з категоріями загального і особливого.

Відповідно до двох видів загального розрізняють види наукових узагальнень: виділення будь-яких ознак (абстрактно-загальне) або істотних (конкретно-загальне, закон).

За іншою підставою можна виділити такі узагальнення:

а) від окремих фактів, подій до їх вираження в думках (індуктивне узагальнення);

б) від однієї думки до іншої, більш загальної думки (логічне узагальнення). Уявний перехід від більш загального до менш загального є процес обмеження.

Узагальнення не може бути безмежним. Його межею є філософські категорії, які не мають родового поняття і тому узагальнити їх не можна.

6 Індукція (з лат. *inductio* – наведення) – логічний прийом дослідження, пов'язаний з узагальненням результатів спостережень і експериментів і рухом думки від одиничного до загального.

У індукції дані досвіду «наводять» на загальне, індукують

його. Оскільки досвід завжди нескінченний і неповний, то індуктивні висновки завжди мають проблематичний (імовірнісний) характер. Індуктивні узагальнення звичайно розглядають як дослідні істини або емпіричні закони.

Виділяють такі види індуктивних узагальнень:

а) індукція популярна. Коли властивості, що регулярно повторюються, які спостерігаються у деяких представників множини (класу), що вивчаються, і такі, які фіксуються в посиленнях індуктивного висновку, переносяться на всіх представників множини (класу), що вивчається, включаючи і недосліджені його частини;

б) індукція неповна, в якій робиться висновок про те, що всім представникам множини, що вивчається, належить властивість P на тій підставі, що вона належить деяким представникам цієї множини;

в) індукція повна, в якій робиться висновок про те, що всім представникам множини, яка вивчається, належить властивість P на підставі одержаної при дослідному дослідженні інформації про те, що кожному представнику множини належить властивість P .

7 Індуктивні методи встановлення причинних зв'язків індукції – канони (правила індуктивного дослідження Бекона-Мілля):

а) метод єдиної схожості, якщо спостережувані випадки будь-якого явища мають загальною лише одну обставину, то, очевидно (ймовірно), вона і є причиною даного явища;

б) метод єдиної відмінності: якщо випадки, при яких явище настає або не настає, розрізняються тільки в одній попередній обставині, а всі інші обставини тотожні, то ця одна обставина і є причиною даного явища;

в) об'єднаний метод схожості і відмінності утворюється як підтвердження результату, одержаного за допомогою методу єдиної схожості шляхом застосування до нього методу єдиної відмінності, це комбінація перших двох методів;

г) метод супутніх змін: якщо зміна однієї обставини завжди викликає зміну іншої, то перша обставина є причиною другої. При цьому решта попередніх явищ залишається незмінною;

д) метод залишків: якщо відомо, що причиною досліджуваного явища не служать необхідні для нього обставини,

окрім одного, то це одна обставина і є, ймовірно, причиною даного явища.

Розглянуті методи встановлення причинних зв'язків найчастіше застосовуються не ізольовано, а у взаємозв'язку, доповнюючи один одного.

8 Дедукція (з лат. *deductio* – виведення) – це:

а) перехід в процесі пізнання від загального до одиничного (окремого); виведення одиничного із загального;

б) процес логічного виведення, тобто переходу за тими або іншими правилами логіки від деяких даних пропозицій – посилянь до їх наслідків (висновків).

Дедукція, як один з прийомів наукового пізнання, тісно пов'язана з індукцією, це діалектично взаємозв'язані способи руху думки. Аналогія не дає достовірного знання: якщо посилення міркувань аналогічно істинні, це ще не означає, що і їх висновок буде істинним. Для підвищення вірогідності висновків аналогічно необхідно прагнути такого:

а) щоб були узяті внутрішні, а не зовнішні властивості об'єктів, що зіставляються;

б) ці об'єкти були подібні в найважливіших та істотніших ознаках, а не у випадкових і другорядних;

в) коло ознак, що збігаються, було якнайширше;

г) враховувалися не тільки схожість, але і відмінності – щоб уникнути можливості перенесення останніх на інший об'єкт.

9 Моделювання. Висновки за аналогією, що розуміються гранично широко – як перенесення інформації про одні об'єкти на інші – складають гносеологічну основу моделювання, методу дослідження об'єктів на їх моделях.

Модель (з лат. *modulus* – міра, зразок) – в логіці і методології науки – аналог фрагмента реальності, породження людської культури, концептуально-теоретичних образів та іншого, тобто оригіналу моделі.

Цей аналог – «представник», «заступник» оригіналу в пізнанні і практиці. Він служить для зберігання і розширення знання (інформації) про оригінал, конструювання оригіналу, перетворення або управління ним. Між моделлю і оригіналом повинна існувати відома схожість (відношення подібності): фізичних характеристик, функцій; поведінки об'єкту, що вивчається, і його математичного опису; структури та ін. Саме ця

схожість і дозволяє переносити інформацію, одержану в результаті дослідження моделі, на оригінал.

10 Системний підхід – сукупність загальнонаукових методологічних принципів (вимог), в основі яких лежить розгляд об'єктів як систем.

Система (з грецьк. *systema* – ціле) – загальнонаукове поняття, що виражає сукупність елементів, які знаходяться у відношеннях і зв'язках один з одним та з середовищем. Вони створюють певну цілісність, єдність.

Типи систем дуже різноманітні: матеріальні і духовні, неорганічні і живі, механічні і органічні, біологічні і соціальні, статичні і динамічні, відкриті і замкнуті і т. п. Будь-яка система являє собою безліч різноманітних елементів, що мають структури і організацію.

Специфіка системного підходу визначається тим, що він орієнтує на розкриття цілісності об'єкту і механізмів, які забезпечують його, на виявлення багатовидних типів зв'язків складного об'єкту і зведення їх в єдину теоретичну картину. Важливим поняттям системного підходу є поняття «самоорганізація». Дане поняття характеризує процес створення, відтворення або вдосконалення організації складної, відкритої, динамічної, такої, що самостійно розвивається, системи, зв'язки між елементами якої мають не жорсткий, а ймовірнісний характер.

11 Ймовірнісно-статистичні методи – засновані на урахуванні дії безлічі випадкових чинників, які характеризуються стійкою частотою. Це і дозволяє розкрити необхідність, яка «пробивається» через сукупну дію безлічі випадковостей.

Ймовірнісні методи спираються на теорію вірогідності, яку часто називають наукою про випадкове, а в уявленні багатьох учених вірогідність і випадковість практично нерозривні.

Вірогідність – поняття, що характеризує кількісну міру (ступінь) можливості появи деякої випадкової події за певних умов, які можуть повторюватися. Одне з основних завдань теорії вірогідності полягає в з'ясуванні закономірностей, що виникають при взаємодії великого числа випадкових чинників.

Ймовірно-статистичні методи широко застосовуються при вивченні масових явищ – особливо в таких наукових дисциплінах, як математична статистика, статистична фізика, квантова механіка, кібернетика, синергетика і т. п.

Існує також **окремонаукова методологія**, яка найчастіше визначається як сукупність методів, принципів і прийомів дослідження, що використовуються в тій або іншій крупній галузі науки. До них відносять механіку, фізику, хімію, геологію, біологію, соціальні науки. Проте з урахуванням сьогоденного рівня розвитку пізнання очевидно, що вказані науки суть абстракції, бо реально кожна з них давно є система певних наукових дисциплін, число яких швидко зростає.

У кожній науковій дисципліні (і в галузі науки) застосовується сукупність різних методів і прийомів, «розташованих» на всіх рівнях методологічного знання. Чітко «прив'язати» будь-які конкретні способи дослідження саме до даної дисципліни – складно, хоча кожна з них має своєрідний методологічний інструментарій.

Поглиблення взаємозв'язку наук призводить до того, що результати, прийоми і методи одних наук все ширше використовуються в інших (наприклад, застосування фізичних і хімічних методів у біології і медицині). Народжується проблема методів міждисциплінарного дослідження.

Взаємодія методів. Вищесказане свідчить про те, що методологія не може бути зведена до якогось одного, навіть «дуже важливого методу», і тим більше «єдинонаукового». У зв'язку з цим необхідно мати на увазі, що кожен метод, як правило, застосовується не ізольовано, сам по собі, а в поєднанні, взаємодії з іншими. А це значить, що кінцевий результат наукової діяльності багато в чому визначається тим, наскільки вміло і ефективно використовується евристичний потенціал кожної із сторін того або іншого методу і всіх їх у взаємозв'язку. Кожен елемент даного методу існує не сам по собі, а як сторона цілого, і застосовується як ціле. От чому дуже важливим є методологічний плюралізм, тобто здатність оволодіти різноманітним методом і вміло їх застосовувати. Особливе значення має здатність

освоєння протилежних методологічних підходів та їх правильне поєднання.

2.3 Моделі досліджень

При вивченні (спостереженні) фізичного процесу потрібно враховувати багато чинників, що діють на нього.

Для того, щоб якнайповніше зрозуміти процес, необхідно мати велику кількість спостережень і вимірювань. Виділити головне за допомогою обширної, не систематизованої інформації складно. Тому інформацію прагнуть «згущувати» в деяке абстрактне поняття – модель.

Модель – штучна система, що відображає з певним ступенем точності основні властивості об'єкту, що вивчається, – оригіналу.

Модель знаходиться в певній відповідності до об'єкту, що вивчається, може замінити його при вивченні і дозволяє одержати інформацію про об'єкт, який вивчається.

Розрізняють такі види моделювання:

- а) фізичне;
- б) математичне;
- в) аналогове.

При **фізичному моделюванні** фізика явищ в об'єкті і в моделі та їх математичні залежності однакові. Фізичні моделі є мініатюрною копією фізично реальної системи і дозволяють наочно уявляти процеси, що протікають. Можна вивчати вплив окремих параметрів на перебіг фізичних процесів. Для проведення такого дослідження необхідно створити модель, що має параметри, при яких критерії подібності моделі однакові з оригіналом.

У разі **математичного моделювання** фізика явищ може бути різною, а математичні залежності однаковими. Математичні моделі дозволяють кількісно досліджувати явища, що деколи важко піддаються вивченню на фізичних моделях і набувають особливої цінності, коли виникає необхідність у вивченні

особливо складних процесів. Здійснюється, в основному, за допомогою ЕОМ.

Аналогове моделювання. Якщо явища в двох системах, що зіставляються, мають різну фізичну природу, але деякі найцікавіші для даного дослідження процеси, які відбуваються у двох системах, описуються формально однаковими диференціальними рівняннями, то можна сказати, що одна система є прямою моделлю-аналогом іншої.

Натурні моделі є масштабно змінні об'єкти, що дозволяють якнайповніше досліджувати процеси, які протікають в натурних умовах.

При побудові моделі властивості і сам об'єкт звичайно спрощують. Чим ближче модель до оригіналу, тим вдаліше вона описує об'єкт, тим ефективніше його дослідження і тим ближче одержані результати до істини, що отримується в дослідженні.

Модель повинна відображати істотні явища процесу. Дрібні чинники, зайва деталізація, другорядні явища лише ускладнюють модель та теоретичні дослідження, роблять їх громіздкими, нецільеспрямованими. Тому модель повинна бути оптимальною за своєю складністю, наочною, але головне – достатньо адекватною, тобто описувати закономірності явища, що вивчається, з необхідною точністю.

Для складання моделей різних процесів використовують такі математичні методи (рисунок 5):

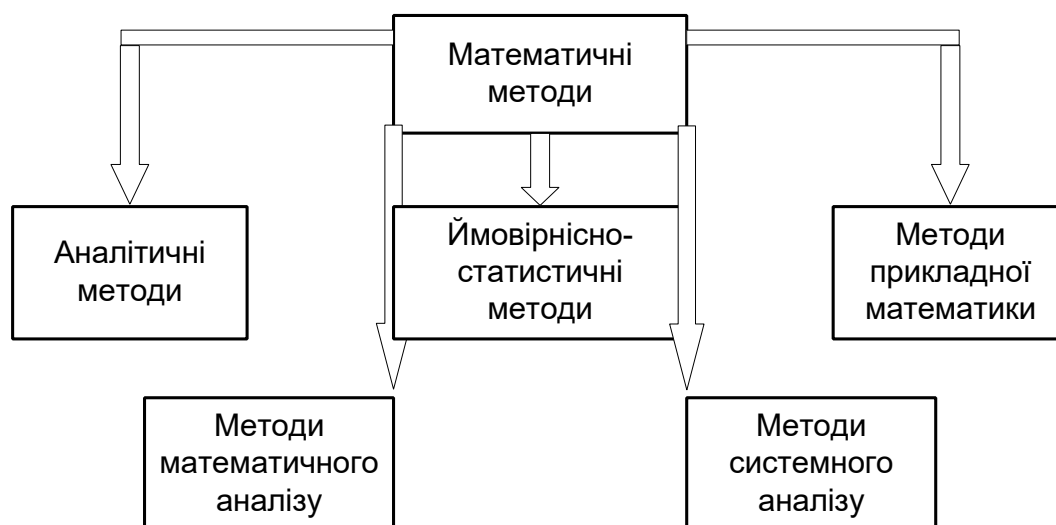


Рисунок 5 – Блок-схема математичних методів, які використовуються для складання моделей

а) аналітичні методи дослідження (елементарна математика, диференціальні і інтегральні рівняння, варіаційне обчислення та інші розділи вищої математики) – для вивчення безперервних детермінованих процесів;

б) методи математичного аналізу з використанням експерименту (метод аналогій, теорія подібності, метод розмірностей);

в) ймовірно-статистичні методи дослідження (математична статистика, дисперсійний і кореляційний аналізи, теорія надійності, метод Монте-Карло, марківські процеси та ін.) – для вивчення випадкових процесів – дискретних і безперервних;

г) методи системного аналізу (дослідження операцій, теорія масового обслуговування, теорія управління, теорія множин і т. п.) – для дослідження складних моделей, а саме – систем з багатовидними і складними взаємозв'язками елементів;

д) раціональні методи. У технічних науках широко застосовують прикладну математику, яка використовує так звані раціональні методи, що допускають наявність формулювань і тверджень, справедливі лише в даних реальних умовах. При цьому вони можуть уточнюватися в ході дослідження, базуватися на доводах, заснованих на наближених рішеннях, аналогіях або експериментах і т. п., що не прийнятно в «чистій» математиці.

Великий вплив на розвиток математичних методів дослідження, особливо в прикладній математиці, надають ЕОМ. Вони дозволяють в багато разів прискорити математичні перетворення і обчислення. В той же час для ефективного використання ЕОМ дослідник зобов'язаний володіти математичним апаратом. Звичайно найбільший ефект одержують в тому випадку, якщо дослідник фізичного процесу добре знає можливості ЕОМ, специфіку методів роботи з ним, а математик-обчислювач, що залучається ним, виразно уявляє фізичні особливості завдання, яке досліджується. Це дозволяє кваліфіковано обговорювати всі питання, що виникли в дослідженні, та сприяє найбільш успішному і ефективному виконанню науково-дослідних робіт.

Іноді побудова фізичних моделей і математичний опис

явища неможливі. Проте і при цьому необхідно:

- сформулювати робочу гіпотезу;
- проілюструвати її графіками, таблицями;
- припустити і оцінити результати, які повинні бути одержані на основі цієї гіпотези;
- спланувати і провести науково-дослідну роботу.

3 Проведення експериментальних досліджень

3.1 Методи експериментальних досліджень

До основних емпіричних методів відносяться нижченаведені.

1 Спостереження – цілеспрямоване вивчення предметів, що спирається в основному на дані органів чуття (відчуття, сприйняття, уявлення). В ході спостереження одержують знання не тільки про зовнішні сторони об'єкту пізнання, але і, як кінцева мета, про його істотні властивості і відношення.

Основні вимоги до наукового спостереження такі: однозначність задуму; наявність системи методів і прийомів; об'єктивність – можливість контролю шляхом повторного спостереження або за допомогою інших методів (наприклад, експерименту). Звичайно спостереження включається як складова частина в процедуру експерименту. Важливим моментом спостереження є інтерпретація його результатів – розшифровка показань приладів кривою на осцилографі, на електрокардіограмі та ін.

Пізнавальним підсумком спостереження є опис – фіксація засобами природної і штучної мови початкових відомостей про об'єкт, що вивчається: схеми, графіки, діаграми, таблиці, рисунки та ін. Спостереження тісно пов'язане з вимірюванням – процесом знаходження відношення даної величини до іншої однорідної величини, прийнятої за одиницю вимірювання. Результат вимірювання виражається числом. Особлива важкість спостереження передбачається в соціально-гуманітарних науках, де його результати, в більшій мірі, залежать від особи спостерігача, його життєвих установок і принципів, його зацікавленого ставлення до предмету, що вивчається. В ході спостереження дослідник завжди керується певною ідеєю, концепцією або гіпотезою, не просто реєструючи будь-які факти, а свідомо відбираючи ті з них, які або підтверджують, або спростовують його ідеї. Важливо відібрати найбільш репрезентативну, тобто найбільш представницьку групу фактів у їх взаємозв'язку. Інтерпретація спостереження також завжди здійснюється за допомогою певних теоретичних положень.

2 Експеримент – активне і цілеспрямоване втручання в протікання процесу, що вивчається, відповідну зміну об'єкту або його відтворення в спеціально створених і контрольованих умовах.

В експерименті об'єкт або відтворюється штучно, або ставиться певним чином в задані умови, що відповідають меті дослідження. В ході експерименту об'єкт, що вивчається, ізолюється від впливу побічних обставин і уявляється в «чистому вигляді». Конкретні умови експерименту не тільки задаються, але і контролюються, модернізуються, неодноразово відтворюються. Всякий науковий експеримент завжди йде за будь-якою ідеєю, концепцією, гіпотезою. Дані експерименту завжди, так чи інакше, «теоретично навантажені» – від його постановки до інтерпретації результатів. Експеримент має такі основні особливості:

- активніше (ніж при спостереженні) відношення до об'єкту, аж до його зміни і перетворення;

- багатократне відтворення об'єкту, що вивчається, за бажанням дослідника;

- можливість виявлення таких властивостей явищ, які не спостерігаються в природних умовах;

- можливість розгляду явища в «чистому вигляді» шляхом ізоляції його від тих, що ускладнюють і маскують його хід обставин, а також шляхом зміни, варіювання умов експерименту;

- можливість контролю за «поведінкою» об'єкту дослідження і перевірки результатів.

Все ширше розвиваються соціальні експерименти, що сприяють впровадженню в життя нових форм соціальної організації і оптимізації управління суспільством. Об'єкт соціального експерименту, в ролі якого виступає певна група людей, є одним з учасників експерименту, на інтереси якого доводиться зважати, а сам дослідник виявляється включеним в ситуацію, що вивчається ним.

3 Порівняння – пізнавальна операція, яка лежить в основі думок про схожість або відмінність об'єктів. За допомогою порівняння виявляються якісні і кількісні характеристики предметів.

Порівняти – значить зіставити одне з іншим з метою

виявлення їх співвідношення. Простий і важливий тип відносин, що виявляються шляхом порівняння, – це відносини тотожності і відмінності. Порівняння має сенс тільки в сукупності «однорідних» предметів, які створюють клас. Порівняння предметів у класі здійснюється за ознаками, істотними для даного розгляду, при цьому предмети, що порівнюються за однією ознакою, можуть бути незрівняні за іншою.

Порівняння є основою такого логічного прийому, як аналогія і служить початковим пунктом порівняльно-історичного методу. Це той метод, за допомогою якого шляхом порівняння виявляється загальне і особливе в історичних та інших явищах, досягається пізнання різних ступенів розвитку одного і того ж явища або різних співіснуючих явищ. Даний метод дозволяє виявити і зіставити рівні за розвитком явища, що вивчаються, зміни, які відбулися, і визначити тенденції розвитку.

3.2 Методологія експерименту

Найбільш важливою складовою частиною наукових досліджень є експерименти.

Експериментальне дослідження – один з основних способів одержати нові наукові знання. У його основі лежить експеримент – науково-поставлений дослід або спостереження.

Мета експерименту – перевірка теоретичних положень (підтвердження робочої гіпотези). Експеримент повинен бути проведений по можливості в найкоротший строк з мінімальною витратою матеріальних засобів і коштів при найбільш задовільній якості одержаних результатів.

У ряді випадків на експеримент витрачається багато засобів. Дослідник проводить величезну кількість спостережень і вимірювань, одержує безліч діаграм, графіків, виконує невиправдано велику кількість випробувань. На обробку і аналіз такого експерименту витрачається багато часу. Іноді виявляється, що виконано багато зайвого, непотрібного. У інших випадках результати тривалого і трудомісткого експерименту не повністю підтверджують робочу гіпотезу наукового дослідження.

Все це можливо тоді, коли експериментатор чітко не обґрунтував мету і завдання експерименту.

Тому перш ніж приступити до експериментальних досліджень, необхідно розробити методологію експерименту.

Методологія експерименту – це загальні принципи, структура експерименту, його постановка і послідовність виконання експериментальних досліджень.

Методологія експерименту включає такі основні етапи:

- а) розробку плану-програми експерименту;
- б) оцінку вимірювань і вибір засобів для проведення експерименту;
- в) математичне планування і проведення експерименту;
- г) обробку і аналіз експериментальних даних, встановлення адекватності.

3.3 Розробка плану-програми експерименту

План-програма включає найменування теми дослідження, робочу гіпотезу, методику експерименту, перелік необхідних матеріалів, приладів, установок, список виконавців, календарний план робіт і кошторис на виконання експерименту (рисунком б).

Основа плану-програми складає методика експерименту.

Методика експерименту – система прийомів або способів для послідовного найбільш ефективного експериментального дослідження, включає таке:

- мету і завдання експерименту;
- вибір варіюючих чинників;
- обґрунтування засобів і необхідну кількість вимірювань;
- опис проведення експерименту, обґрунтування способів обробки і аналіз результатів експерименту.

Визначення мети і завдання експерименту – один з найбільш важливих етапів. На основі аналізу інформації, гіпотези і теоретичних розробок обґрунтовують мету і завдання експерименту.

Вибір варіюючих чинників – встановлення основних і другорядних характеристик, що впливають на процес дослідження. Класифікують всі чинники і складають з них для даного експерименту ряд, що зменшується за важливістю.



Рисунок 6 – Схема плану-програми експерименту

Обґрунтування засобів вимірювань – це вибір, необхідний для спостережень і вимірювань приладів, устаткування, машин, апаратів та ін. В першу чергу використовують стандартні машини, що серійно випускаються, і прилади, робота на яких регламентується інструкціями, стандартами та іншими офіційними документами.

Дуже відповідальною частиною є встановлення точності вимірювань і похибок. Методи вимірювань повинні базуватися на законах спеціальної науки – метрології, що вивчає засоби і методи вимірювань.

При експериментальному дослідженні одного і того ж процесу (спостереження і вимірювання) повторні відліки на приладах, як правило, не однакові. Відхилення пояснюються неоднорідністю властивостей тіла (грунт, матеріал, конструкція і т. п.), що вивчається, недосконалістю приладів і класом їх точності, суб'єктивними особливостями експериментатора та ін. Чим більше випадкових чинників, що впливають на дослід, тим більше відхилення окремих вимірювань від середнього значення.

Це вимагає повторних вимірювань, отже, необхідно знати їх потрібну мінімальну кількість, тобто таку їх кількість, яка в даному досліді забезпечить стійке середнє значення вимірюваної величини, що задовольнить заданому ступеню точності. Це забезпечує отримання найбільш об'єктивних результатів при мінімальних витратах часу і засобів.

В описі проведення експерименту складають послідовність (черговість) операцій вимірювань і спостережень. Описують кожен операцію окремо з урахуванням вибраних засобів для проведення експерименту. Встановлюють методи контролю якості операцій, що забезпечують при мінімальній кількості вимірювань високу надійність і задану точність. Розробляють форми журналів запису результатів спостережень і вимірювань.

В обґрунтуванні способів обробки і аналізу результатів експериментів вибирають відповідні методи (встановлення емпіричних залежностей, апроксимація зв'язків між характеристиками, знаходження критеріїв і довірчих інтервалів та ін.). Визначають об'єм і трудомісткість експериментальних досліджень, які залежать від глибини теоретичних розробок, ступеня точності прийнятих засобів вимірювань.

4 Обробка результатів наукових досліджень

4.1 Статистичні методи оцінки вимірювань в експериментальних дослідженнях

Вимірювання є основою будь-якого експерименту. Тому кожен експериментатор повинен знати закономірності вимірювальних процесів: уміти правильно виміряти величини, що вивчаються; оцінити похибки при вимірюваннях; правильно, з необхідною точністю обчислити значення величин і їх мінімальну кількість; визначити якнайкращі умови вимірювань, при яких помилки будуть найменшими, і провести загальний аналіз результатів вимірювань.

Вимірювання – процес знаходження будь-якої фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів, це пізнавальний процес порівняння величини будь-чого з відомою величиною, прийнятою за одиницю (еталон).

Похибка вимірювання – алгебраїчна різниця між дійсним значенням вимірюваної величини x_0 і одержаним при вимірюванні x_e ; $e = x_0 - x_e$. Значення e називають **абсолютною помилкою вимірювання**. Відносна помилка вимірювання, %,

$$\delta = \pm \frac{\varepsilon}{x_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

Точність вимірювання – це ступінь наближення вимірювання до дійсного значення величини.

Достовірність вимірювання – довіра до результатів вимірювання, тобто вірогідність відхилень вимірювання від дійсних значень.

Щоб підвищити точність і достовірність вимірювань, необхідно зменшити похибки.

Похибки при вимірюваннях виникають унаслідок ряду причин: недосконалість методів і засобів вимірювань, недостатньо ретельне проведення досвіду, впливи різних зовнішніх чинників в процесі досвіду, суб'єктивні особливості експериментатора та ін.

Похибки класифікують на систематичні і випадкові (рисунок 7).

Систематичні – це такі похибки вимірювань, які при повторних експериментах залишаються постійними (або змінюються за відомим законом).



Рисунок 7 – Схема плану-програми експерименту

Випадкові – похибки, що виникають суто випадково при повторному вимірюванні. Ці вимірювання не можуть бути виключені як систематичні. Проте за наявності багатократних повторень за допомогою статистичних методів можна виключити випадкові вимірювання, що найбільше відхиляються.

Сумарна похибка вимірювання

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2, \quad (3)$$

де ε_1 і ε_2 – систематичні і випадкові похибки вимірювань.

Основне завдання вимірювань полягає в тому, щоб одержати, по можливості, результати вимірювань з меншими похибками.

Розглянемо **основні принципи і методи усунення систематичних і випадкових помилок.**

Систематичні похибки можна розділити на п'ять груп (рисунок 8):

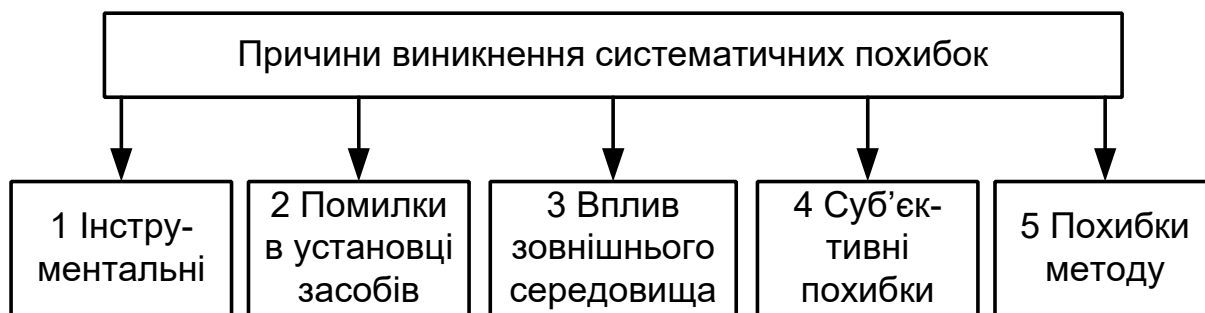


Рисунок 8 – Причини виникнення систематичних похибок

а) інструментальні похибки (люфти, тертя, неточності градуїрованої шкали, зношення і старіння вузлів і деталей засобів вимірювання);

б) похибки, які виникають через неправильне встановлення засобів вимірювань;

в) похибки, які виникають в результаті дії зовнішнього середовища (високих температур, магнітних і електричних полів, атмосферного тиску і вологості, вібрації і коливань);

г) суб'єктивні похибки, виникають внаслідок індивідуальних фізіологічних, психофізіологічних, антропометричних властивостей людини;

д) похибки методу виникають внаслідок необґрунтованого методу вимірювань (при спрощеннях схем або функціональних залежностей, відсутності теоретичних обґрунтувань методу вимірювання, малій кількості повторень).

Систематичні похибки можуть бути усунені такими методами:

а) шляхом регулювання або ремонту засобів вимірювання;

б) ретельної перевірки встановлення засобів вимірювання;

в) усунення небажаних дій зовнішнього середовища;

г) застосовують також метод заміщення. При вимірюванні замість об'єкту, який досліджується, встановлюють еталонний, наперед виміряний з високою точністю. Різниця у вимірюваннях дозволяє знайти похибку вимірювального засобу.

Випадкові похибки. При проведенні з однаковою ретельністю тих або інших експериментів результати вимірювань однієї і тієї ж величини (навіть з урахуванням відомого закону систематичних похибок), як правило, відрізняються між собою. Це свідчить про наявність випадкових похибок. До випадкових

помилки відносять також промахи і грубі похибки.

Найбільш типовими причинами промахів є помилки в спостереженнях: неправильний відлік за шкалою вимірювальних приладів, помилки при записі результатів вимірювань, різні маніпуляції з приладами або їх окремими вузлами (перестановка, заміна блоків, перевірка та ін.). Грубі похибки виникають внаслідок несправності приладів, а також умов експерименту, що раптово змінилися.

Аналіз випадкових похибок ґрунтується на теорії випадкових помилок. Ця теорія дає можливість з певною гарантією обчислити дійсне значення і оцінити можливі помилки, за якими судять про дійсне значення величини.

В основу теорії випадкових помилок покладено припущення про те, що:

- при великому числі вимірювань випадкові похибки однакової величини, але різного знаку зустрічаються однаково часто;

- великі похибки зустрічаються рідше, ніж малі (вірогідність появи зменшується із зростанням її величини);

- при нескінченно великому числі вимірювань дійсне значення вимірюваної величини рівне середньоарифметичному значенню всіх результатів вимірювань, а поява того або іншого результату вимірювання, як випадкової події, описується нормальним законом розподілу.

Розрізняють генеральну і вибірку сукупність вимірювань. Під генеральною сукупністю мають на увазі всю безліч можливих значень вимірювань x_i або можливих значень похибок Δx_i . Для вибіркової сукупності вимірювань n обмежено. Зазвичай вважають, що якщо $n > 30$, то середнє значення даної сукупності вимірювань \bar{x} достатньо наближається до його дійсного значення. Теорія випадкових помилок дозволяє вирішити такі завдання:

- а) оцінити точність і надійність вимірювання при даній кількості вимірів;

- б) визначити мінімальну кількість вимірів, що гарантують необхідну (задану) точність і надійність вимірювань;

- в) виключити грубі помилки ряду, визначити достовірність отриманих даних.

4.2 Інтервальна оцінка за допомогою довірчої

вірогідності

Припустимо, що ми провели n прямих (безпосередніх) вимірювань деякої фізичної величини, дійсне значення якої (нам невідоме) позначимо через a . Позначимо через $a_1, a_2 \dots a_n$ результати окремих вимірювань, а через $\sigma_{ai} = a - a_i$ — дійсну абсолютну похибку його вимірювання.

Тоді результати вимірювань можна подати у вигляді

$$\begin{aligned} a_1 &= a - \Delta a_1, \\ a_2 &= a - \Delta a_2, \\ &\dots\dots\dots \\ a_n &= a - \Delta a_n. \end{aligned} \tag{4}$$

Підсумовуючи ліву і праву частину рівності (4), одержуємо

$$\sum_{i=1}^n a_i = n \cdot a - \sum_{i=1}^n \Delta a_i. \tag{5}$$

Середньоарифметичне значення вимірювань величини рівне \acute{a}

$$\acute{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i. \tag{6}$$

Розділивши (5) на число вимірювань n , після перестановки членів одержимо

$$a = \acute{a} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i, \tag{7}$$

де при $n \rightarrow \infty$ правий член прагне до нуля, оскільки в серії з великого числа вимірювань будь-якій позитивній похибці можна зіставити рівну їй за абсолютною величиною негативну похибку.

З (7) отримаємо

$$a = \acute{a} \text{ при } n \rightarrow \infty. \tag{8}$$

Тобто при нескінченно великому числі вимірювань дійсне значення вимірюваної величини дорівнює середньоарифметичному значенню a_i всіх результатів вимірювань. Проте при обмеженому числі вимірювань ($n \neq \infty$) середньоарифметичне значення відрізнятиметься від дійсного значення, тобто рівність (8) буде не точною, а наближеною

$$a = \bar{a}. \quad (9)$$

Поява того або іншого значення a_i в процесі вимірювань є випадковою подією. Існує деяка вірогідність появи цього значення a_i в деякому інтервалі Δa_i . Ця вірогідність визначається законом нормального розподілу Гаусса (рисунок 9).

Нормальний розподіл характеризується двома параметрами: генеральним середнім значенням випадкової величини і дисперсією.

Генеральне середнє значення – те значення, щодо якого відбувається розкидання випадкових величин.

Площа, розташована під кривою розподілу, відповідає одиниці внаслідок того, що крива охоплює всі результати вимірювання. Для однієї і тієї ж площі можна побудувати велику кількість кривих розподілу, тобто вони можуть мати різне розсіяння. Мірою розсіяння (точність вимірювань) є дисперсія (або середньоквадратичне відхилення).

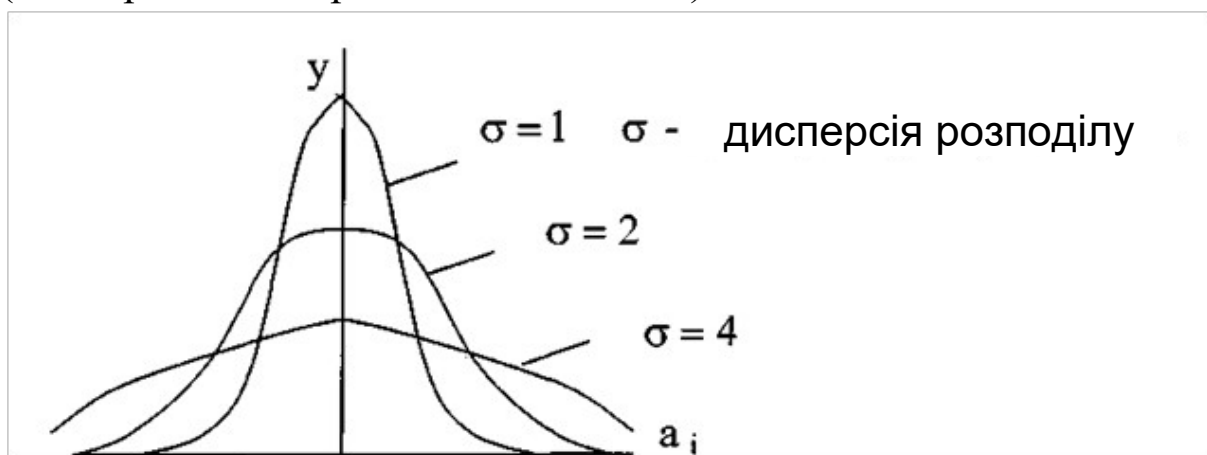


Рисунок 9 – Крива розподілу Гаусса для різних σ

Для великої вибірки і нормального закону розподілу

характеристикою оцінювання вимірювання є дисперсія D (або σ^2) і коефіцієнт варіації k_B .

$$D = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n-1}; k_B = \frac{\sigma}{\bar{a}}. \quad (10)$$

Дисперсія σ^2 характеризує однорідність (розкидання) вимірювання. Чим більше D , тим більше розкидання.

Коефіцієнт варіації характеризує мінливість. Чим вище k_B , тим більше мінливість вимірювань щодо середніх значень.

Важливою характеристикою кривої розподілу є середньоквадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (11)$$

Довірчий інтервал – інтервал $(\bar{a} - \Delta a, \bar{a} + \Delta a)$, в який за визначенням потрапляє дійсне значення "а" величини, яка вимірюється, із заданою вірогідністю.

Надійність (довірча вірогідність) результату вимірювань – вірогідність p_0 того, що дійсне значення "а" величини, яка вимірюється, потрапляє в даний довірчий інтервал (у відсотках або в частках одиниці).

Довірчий інтервал характеризує точність вимірювання даної вибірки, а довірна вірогідність – достовірність вимірювання.

Довірча вірогідність p_0 (надійність) описується інтегральною функцією Лапласа (таблиця 1). Аргументом цієї функції є відношення

$$t = \frac{\mu}{\sigma}, \quad (12)$$

де t – гарантійний коефіцієнт;

σ – середньоквадратичне відхилення;

μ – половина довірчого інтервалу (весь довірчий інтервал – 2μ).

Таблиця 1 – Інтегральна функція Лапласа

t	p_δ	t	p_δ	t	p_δ
0,00	0,0000	0,75	0,5467	1,50	0,8664
0,05	0,0399	0,80	0,5763	1,55	0,8789
0,10	0,0797	0,85	0,6047	1,60	0,8904
0,15	0,1192	0,90	0,6319	1,65	0,9011
0,20	0,1585	0,95	0,6579	1,70	0,9109
0,25	0,1974	1,00	0,6827	1,75	0,9199
0,30	0,2357	1,05	0,7063	1,80	0,9281
0,35	0,2737	1,10	0,7287	1,85	0,9357
0,40	0,3108	1,15	0,7419	1,90	0,9426
0,45	0,3473	1,20	0,7699	1,95	0,9488
0,50	0,3829	1,25	0,7887	2,00	0,9545
0,55	0,4177	1,30	0,8064	2,25	0,9756
0,60	0,4515	1,35	0,8230	2,50	0,9876
0,65	0,4843	1,40	0,8385	3,00	0,9973
0,70	0,5161	1,45	0,8529	4,00	0,9999

4.3 Визначення мінімальної кількості вимірювань

Для проведення дослідів із заданою точністю і достовірністю необхідно знати ту кількість змін, яка буде мінімальною, але достатньою для заданого інтервалу і довірчої вірогідності.

При виконанні вимірювань потрібно знати їх точність

$$\Delta = \frac{\sigma_o}{\bar{x}}, \quad (13)$$

де σ_o – середньоарифметичне значення середньоквадратичного відхилення σ (або середня помилка)

$$\sigma_o = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (14)$$

Довірчий інтервал помилки вимірювань x^b визначається аналогічно тому, як це робиться для вимірювань, тобто

$$\mu = t \cdot \sigma_0. \quad (15)$$

Потім за допомогою t визначається довірна вірогідність помилки вимірювання з таблиці 1.

У дослідженнях часто за заданою точністю Δ і довірчої вірогідністю вимірювання визначають мінімальну кількість, що гарантує необхідне значення Δ і p_δ (помилки вимірювання і довірчої вірогідності)

$$N_{min} = \frac{\sigma^2 t^2}{\Delta^2} = \frac{k_B^2 t^2}{\Delta^2}; k_B = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (16)$$

Для визначення N_{min} може бути прийнята така послідовність виконання:

а) проводиться попередній експеримент з кількістю вимірювань "n", яка складає залежно від трудомісткості досліду від 20 до 50;

б) обчислюється середньоквадратичне відхилення за формулою

$$D = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n-1}. \quad (17)$$

в) відповідно до поставлених завдань встановлюється необхідна точність вимірювань Δ , яка не повинна перевищувати точність приладу;

г) встановлюється нормоване відхилення t , значення якого звичайно задається;

д) за формулою (16) визначають N_{min} і тоді надалі, в процесі експерименту, число вимірювань не повинно бути менше за N_{min} .

4.4 Перевірка достовірності експериментальних даних

У дослідженнях часто виникає питання про достовірність даних, одержаних в результаті експерименту. Розв'язання такої задачі можна проілюструвати прикладом.

Нехай встановлена міцність контрольних зразків бетону до віброперемішування $R_1 = \bar{R}_1 \pm \sigma_0 = 20 \pm 0,5$ МПа і міцність бетонних зразків після віброперемішування $R_2 = \bar{R}_2 \pm \sigma_0 = \quad = 23$

$\pm 0,6$ МПа. Приріст міцності складає 15 %. Це зміцнення відносно невелике, його можна віднести за рахунок розкидання дослідних даних. В цьому випадку слід провести перевірку на достовірність експериментальних даних за умовою

$$\frac{\bar{x}}{\sigma_o} = \frac{R_2 - R_1}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}, \quad (18)$$

де \bar{x} – одержана різниця в результатах дослідів;
 σ_o – помилка вимірювання.

Тобто для визнання достовірності одержана різниця повинна не менше ніж в 3 рази перевершувати помилку вимірювання.

В даному випадку перевіряється різниця $\bar{x} = R_2 - R_1 = 3,0$ МПа.

$$\frac{\bar{x}}{\sigma_o} = \frac{3,0}{\sqrt{0,5^2 + 0,6^2}} = 3,84 > 3 \text{ МПа.}$$

Отже, одержаний приріст міцності є достовірним.

Вище були розглянуті загальні методи перевірки експериментальних вимірювань на точність і достовірність. Відповідальні експерименти повинні бути перевірені також і на відтворюваність результатів, тобто на їх повторюваність в певних межах вимірювань із заданою довірчою достовірністю.

Суть такої перевірки зводиться до наступного. Є декілька паралельних дослідів (серій). Для кожної серії обчислюють середньоарифметичне значення \bar{x} (n – число дослідів в одній серії, що приймається звичайно рівним $3 \div 4$). Далі обчислюють дисперсію D_i . Щоб оцінити відтворюваність, розраховують критерій Кохрена (розрахунковий)

$$k_{кр} = \frac{\max D_i}{\sum_1^m D_i}, \quad (19)$$

де $\max D_i$ – найбільше значення дисперсій з числа даних паралельних серій " m ";

$\sum_1^m D_i$ – сума дисперсій ” m ” серій.

Рекомендується приймати $2 < m < 4$. Досліди вважаються відтворними при

$$k_{кр} \leq k_{кр}, \quad (20)$$

де $k_{кр}$ – табличне значення критерію Кохрена (таблиця 2), що приймається залежно від довірчої вірогідності і числа ступенів свободи ($q = n - 1$), n – число вимірювань в серії.

Нехай, наприклад, проведено три серії дослідів з вимірювання міцності ґрунту (таблиця 3). У кожній серії виконувалося по п’ять вимірювань (повторень). Тоді за формулою (19)

$$k_{кр} = \frac{2,96}{2,96+2,0+0,4} = 0,55.$$

Таблиця 2 – Табличне значення критерію Кохрена

m	Значення $k_{кр}$ при $p_d = 0,95$ в залежності від $q = n - 1$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
2	,99	,97	,93	,90	,87	,85	,81	,78	,73	,66
3	,97	,93	,79	,74	,70	,76	,63	,60	,54	,47
4	,90	,76	,68	,62	,59	,56	,51	,48	,43	,36
5	,84	,68	,60	,54	,50	,48	,44	,41	,36	,26
6	,78	,61	,53	,48	,44	,42	,38	,35	,31	,25
7	,72	,56	,48	,43	,39	,37	,34	,31	,27	,23
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	,68	,51	,43	,39	,36	,33	,30	,28	,24	,20		
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	,64	,47	,40	,35	,33	,30	,28	,25	,22	,18		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	,60	,44	,37	,33	,30	,28	,25	,23	,20	,16		
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	,57	,39	,32	,29	,26	,24	,22	,20	,17	,14		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	,47	,33	,27	,24	,22	,20	,18	,17	,14	,11		
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	,39	,27	,22	,19	,17	,16	,14	,13	,11	,08		
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	,34	,29	,19	,16	,15	,14	,12	,11	,09	,07		
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	,29	,20	,16	,14	,12	,11	,10	,09	,07	,06		
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	,24	,16	,12	,10	,09	,08	,07	,07	,06	,04		
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	,17	,11	,08	,07	,06	,06	,05	,05	,04	,02		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	,09	,08	,04	,04	,03	,03	,02	,02	,02	,01		

Таблиця 3 – Результати вимірювань міцності ґрунту

Серії дослідів	Вимірювання величини і повторності					Розрахункове значення	
	1	2	3	4	5	\bar{x}_i	D_i
1	7	9	6	8	4	6,8	2,96
2	9	7	8	6	5	7,0	2,0
3	8	8	7	9	8	8,0	0,4

5 Методи підбору емпіричних формул

У процесі експериментальних досліджень виходить статистичний ряд вимірювань двох величин, коли кожному значенню функції $y_1 \dots y_n$ відповідає певне значення аргументу $x_i \dots x_n$. На основі експериментальних даних можна підібрати алгебраїчні вирази функції

$$y = f(x), \quad (21)$$

які називають **емпіричними формулами**.

Необхідність в підборі емпіричних формул виникає у багатьох випадках. Так, якщо аналітичний вираз (21) складний, вимагає громіздких обчислень, то часто ефективніше користуватися спрощеною наближеною емпіричною формулою.

Емпіричні формули повинні бути по можливості найбільш простими і точно відповідати експериментальним даним. Тому вони є наближеними виразами аналітичних формул. Заміну точних аналітичних виразів наближеними, простішими називають апроксимацією, а функції такими, що апроксимують.

Процес підбору емпіричних формул складається з двох етапів. На першому етапі дані вимірювань наносять на сітку прямокутних координат, сполучають експериментальні точки плавною кривою і вибирають орієнтовно вид формули. На другому етапі обчислюють параметри формул, які найкращим чином відповідали б прийнятій формулі. Підбір емпіричних формул необхідно починати з найпростіших виразів.

Результати вимірювань багатьох явищ і процесів апроксимуються простими емпіричними рівняннями типу

$$y = a + bx, \quad (22)$$

де a, b – постійні коефіцієнти.

Так, лінеаризованим рівнянням (22) можна виразити залежність між вологістю і щільністю ґрунту, вмістом цементу і міцністю бетону.

Тому при аналізі графічного матеріалу необхідно по можливості використовувати лінійну функцію. В цьому випадку застосовують метод вирівнювання. Він полягає в тому, що криву, побудовану за експериментальними точками, подають лінійною функцією.

Для перетворення деякої кривої (21) в пряму лінію вводять нові змінні

$$X = f_1(x; y); Y = f_2(x; y), \quad (23)$$

які в новому рівнянні були б зв'язані лінійною залежністю

$$Y = a + bX. \quad (24)$$

Значення X і Y можна обчислити на основі вирішення системи (23). Далі будують пряму (рисунок 10), за якою легко графічно обчислити параметри a (ордината точки перетину прямої з віссю Y) і b (тангенс кута нахилу прямої з віссю X): $b = \operatorname{tga}$.

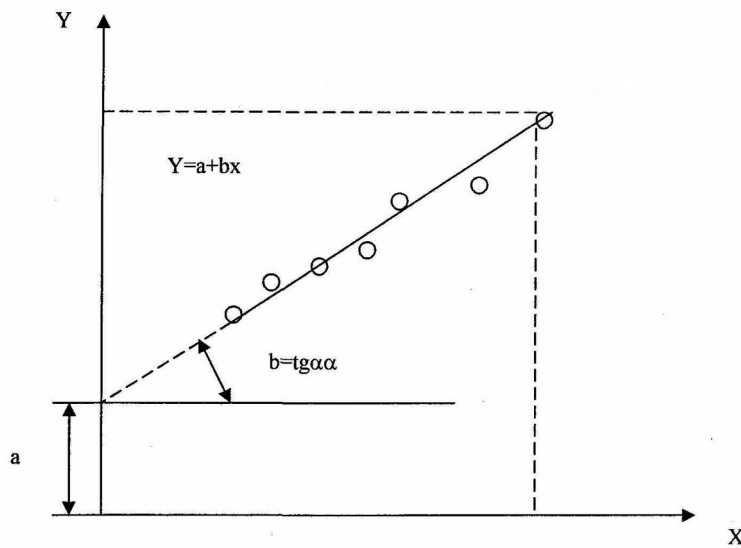


Рисунок 10 – Графічне визначення параметрів x і y

При графічному визначенні параметрів a і b обов'язково, щоб пряма (22) будувалася на координатній сітці, у якій початком є точки $Y = 0$ і $X = 0$. Для розрахунку необхідно точки Y_i і X_i приймати на крайніх ділянках прямої.

Для визначення параметрів прямої можна застосовувати також інший графічний метод. У рівняння (24) підставляють координати двох крайніх точок, узятих з графіка. Отримують систему двох рівнянь, з яких обчислюють a і b .

Після встановлення параметрів a і b одержують емпіричну формулу (22), яка поєднує Y і X , що дозволяє встановити функціональний зв'язок між x і y та емпіричну залежність (21).

Лінеаризацію кривих можна легко здійснити у напів- або логарифмічних координатних сітках, які порівняно широко застосовують при графічному методі підбору емпіричних формул.

Приклад. Підібрати емпіричну формулу таких вимірювань:

12,1	19,2	25,9	33,2	40,5	46,4	54,0
1	2	3	4	5	6	7

Графічний аналіз цих вимірювань показує, що в прямокутних координатах точки добре лягають на пряму лінію і їх можна виразити залежністю (22). Вибираємо координати крайніх точок і підставляємо в (22): $A_0 + 7 A_1 = 54,0$; $A_0 + A_1 = 12,1$, звідки $A_1 = 41,9 : 6 = 6,98$ і $A_0 = 12,10 - 6,98 = 5,12$.

Емпірична формула набуде вигляду $y = 5,12 + 6,98 A_1$.

Таким чином, апроксимація експериментальних даних прямолінійними функціями дозволяє просто і швидко встановити вигляд емпіричних формул.

Графічний метод вирівнювання може бути застосований в різних випадках, коли експериментальна крива на сітці прямокутних координат має вигляд плавної кривої. Розглянемо основні випадки.

1 Якщо експериментальний графік має вигляд відповідно до рисунка 11, а, то необхідно застосувати таку формулу:

$$y = a x^b. \quad (25)$$

Заміняючи $X = \lg x$ и $Y = \lg y$, отримаємо $Y = \lg a + bX$.

При цьому експериментальна крива перетворюється на пряму лінію на логарифмічній сітці.

2 Якщо експериментальний графік має вигляд відповідно до рисунка 11, б, то потрібно використовувати вираз

$$y = a e^{bx}. \quad (26)$$

Заміняючи $Y = \lg y$, отримаємо $Y = \lg a + bx \lg e$.

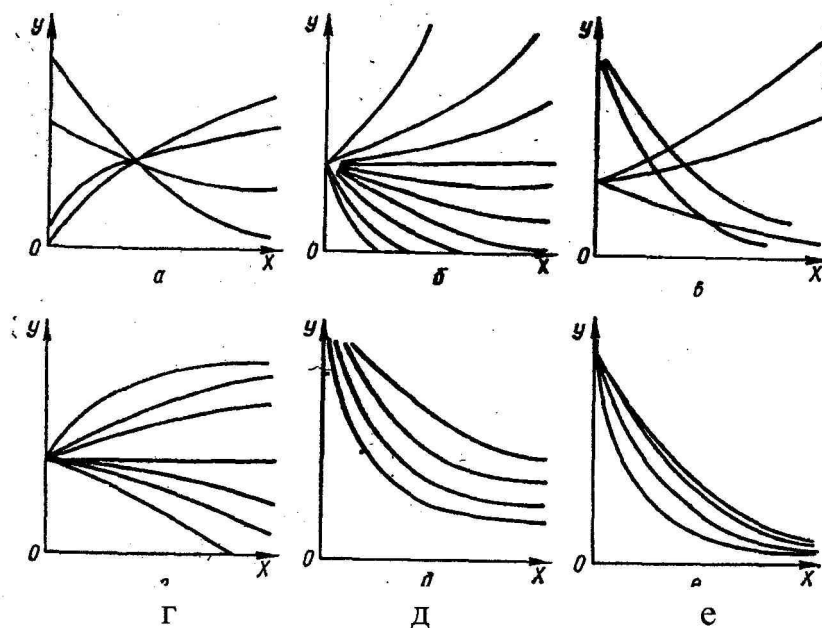


Рисунок 11 – Основні вигляди графіків емпіричних формул

Тут експериментальна крива перетворюється на пряму лінію на напівлогарифмічній сітці.

3 Якщо експериментальний графік має вигляд відповідно до рисунка 11, в, то застосовуємо таке:

$$y = c + ax^b; \quad (27)$$

а) b задане. Приймаючи $X = x^b$, маємо пряму лінію на сітці прямокутних координат: $y = c + aX$;

б) b невідомо. Приймаючи $X = \lg x$ і $Y = \lg (y-c)$, маємо пряму лінію на логарифмічній сітці $Y = \lg a + bX$. В цьому випадку необхідно заздалегідь обчислити c . Для цього по експериментальній кривій приймають три довільні точки: $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3 = \sqrt{x_1 x_2}, y_3$ і обчислюють c у вигляді відношення

$$c = \frac{y_1 y_2 - y_3^2}{y_1 + y_2 - 2y_3}. \quad (28)$$

4 Якщо експериментальний графік має вигляд відповідно до рисунка 11, г, то потрібно користуватися формулою

$$y = c + ae^{bx}. \quad (29)$$

Після логарифмування і заміни $Y = \lg (y-c)$ маємо пряму на напівлогарифмічній сітці $Y = \lg a + bX \lg c$. Необхідно заздалегідь визначити c за допомогою (28) і $x_3 = 0,5 (x_1 + x_2)$.

5 Якщо експериментальний графік має вигляд відповідно до рисунка 11, д, то застосовуємо вираз

$$y = a + b/x. \quad (30)$$

Замінюючи $x = 1/z$, одержуємо пряму лінію на сітці прямокутних координат $y = a + bz$.

6 Якщо графік має вигляд відповідно до рисунка 11, е, потрібно використовувати формулу

$$y = \frac{1}{a+bx}. \quad (31)$$

Замінюючи $y = 1/z$, маємо $z = a + bx$, тобто пряму на сітці прямокутних координат.

Аналогічно для рівняння

$$y = \frac{1}{a+bx+cx^2}. \quad (32)$$

тоді $z = a + bx + cx^2$.

Складну степеневу функцію

$$y = ae^{nx+mx^2} \quad (33)$$

перетворюємо в пряму лінію. При $\lg y = z$, $\lg a = p$, $\lg e = q$, $m \lg e = r$ маємо залежність $z = p + qx + rx^2$. За допомогою поданих на рисунку 11 графіків і виразів (25)-(33) практично можна завжди підібрати рівняння емпіричної формули.

Приклад. Підібрати емпіричну формулу для таких вимірювань:

1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
15,2	20,6	27,4	36,7	49,2	66,0	87,4	117,5

На основі цих даних будуємо графіки (рисунок 12, а і б).

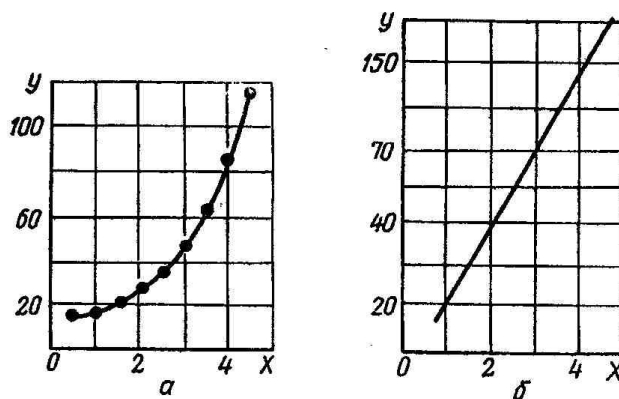


Рисунок 12 – Експериментальна крива (а) і випрямлена (б)

Як видно з рисунка 12, маємо типовий графік для показової функції (26) (рисунок 12, б). У цій формулі необхідно знайти параметри a і b .

Після логарифмування цього виразу маємо $\lg y = \lg a + bx \lg e$. Якщо позначити $\lg y = Y$, то $Y = \lg a + bx \lg e$, тобто в напівлогарифмічних координатах вираз для Y являє прямою лінію, що підтверджується графіком.

Підставимо в рівняння координати крайніх точок:

$$\lg 15,2 = \lg a + b \lg e \text{ і } \lg 117,5 = \lg a + 4,5b \lg e.$$

Отже, $1,183 = \lg a + b \lg e$; $2,070 = \lg a + 4,5b \lg e$. Звідки $\lg a = 1,183 - b \lg e$; $\lg a = 1,183 - 0,58 \lg e$.

Після підстановки $b = 0,887 / (3,5 \lg e) = 0,579$; $\lg a = 1,183 - 0,254 = 0,929$; $a = 1,85$. Остаточна емпірична формула буде $y = 1,85 e^{0,579x}$.

Апроксимація результатів вимірювань за допомогою поліномів. При підборі емпіричних формул широко використовують поліноми

$$y = A_0 + A_1x_1 + A_2x^2 + \dots + A_nx^n, \quad (34)$$

де A_0, \dots, A_n – постійні коефіцієнти.

Поліномами можна апроксимувати будь-які результати вимірювань, якщо вони графічно виражаються безперервними функціями. Окрім графічного методу, викладеного вище, для

- 1) $A_0 + 4A_1 + 16A_2 - 10,2 = \varepsilon_1$;
- 2) $A_0 + 5A_1 + 25A_2 - 6,7 = \varepsilon_2$;
- 3) $A_0 + 6A_1 + 36A_2 - 4,8 = \varepsilon_3$;
- 4) $A_0 + 7A_1 + 49A_2 - 3,6 = \varepsilon_4$;
- 5) $A_0 + 8A_1 + 64A_2 - 2,7 = \varepsilon_5$;
- 6) $A_0 + 9A_1 + 81A_2 - 2,1 = \varepsilon_6$;
- 7) $A_0 + 10A_1 + 100A_2 - 1,7 = \varepsilon_7$.

Після складання рівнянь в кожній підгрупі маємо

- 1) $2A_0 + 9A_1 + 41A_2 = 16,9$;
- 2) $2A_0 + 13A_1 + 85A_2 = 8,4$;
- 3) $3A_0 + 27A_1 + 24A_2 = 6,5$.

Визначаючи з цих виразів A_0 , A_1 і A_2 , остаточно одержуємо таку емпіричну формулу: $y = 26,168 - 5,2168x + 0,2811x^2$.

Метод середніх квадратів також може бути застосований для різних кривих після їх вирівнювання.

Приклад. Є вісім вимірювань

3	6	9	12	15	18	21	24
57,6	41,9	31,0	22,7	16,6	12,2	8,9	6,5

Аналіз кривої в системі прямокутних координат дає можливість застосувати формулу (26)

$$y = a e^{-bx}.$$

Логарифмуємо $\lg y = \lg a + bx \lg e$. Проведемо заміну змінних: $Y = \lg y$, $X = x/2,303$. Тоді $Y = A + BX$, де $A = \lg a$, $B = b$.

Оскільки необхідно визначити два параметри A і B , то розбиваємо всі вимірювання на дві групи по чотири вимірювання. Складаємо вісім рівнянь

$$\begin{aligned} 1,7604 &= A + \frac{3}{2,303}B; & 1,2201 &= A + \frac{15}{2,303}B; \\ 1,6222 &= A + \frac{6}{2,303}B; & 1,0864 &= A + \frac{18}{2,303}B; \\ 1,4914 &= A + \frac{9}{2,303}B; & 1,9494 &= A + \frac{21}{2,303}B; \\ 1,3560 &= A + \frac{12}{2,303}B; & 1,8129 &= A + \frac{24}{2,303}B. \end{aligned}$$

Після підсумовування по групах одержуємо

$$6,2300 = 4A + \frac{30}{2,303}B; \quad 4,0688 = 4A + \frac{24}{2,303}B$$

систему двох рівнянь з двома невідомими A і B , розв'язуючи яку, маємо $A = 1,8952$; $a = 78,56$; $B = -0,045$; $b = -0,1037$. Остаточно $y = 78,56 e^{-0,1037x}$.

Найкращі результати при визначенні параметрів заданого рівняння дає використання методу найменших квадратів. Суть цього методу полягає в тому, що якщо всі вимірювання функції y_1, y_2, \dots, y_n проведені з однаковою точністю і розподілені помилки вимірювання відповідають нормальному закону, то параметри рівняння, яке досліджується, визначаються за умови, що сума квадратів відхилення виміряних значень від розрахункових набуває найменшого значення.

Щоб знайти невідомі параметри (a_1, a_2, \dots, a_n) , число яких n , необхідно розв'язати систему n лінійних рівнянь

$$\begin{aligned} y_1 &= a_1 x_1 + a_2 u_1 + \dots + a_n z_1 ; \\ y_2 &= a_1 x_2 + a_2 u_2 + \dots + a_n z_2 ; \\ &\dots\dots\dots ; \\ y_n &= a_1 x_m + a_2 u_m + \dots + a_n z_m , \end{aligned} \tag{36}$$

де y_1, \dots, y_n – окремі значення виміряних величин, функції y ;
 x, u, z – змінні величини;
 a_1, \dots, a_n – коефіцієнти рівняння, які необхідно визначити.

Цю систему приводять до системи нормальних лінійних рівнянь шляхом множення кожного рівняння відповідно на x_1, \dots, x_m і подальшого їх складання, потім множення відповідно на u_1, \dots, u_m і т. п. Це дозволяє одержати так звану систему нормальних рівнянь

$$\begin{aligned} \sum_1^m yx &= a_1 \sum_1^m xx + a_2 \sum_1^m xu + \dots + a_n \sum_1^m xz ; \\ \sum_1^m yu &= a_1 \sum_1^m ux + a_2 \sum_1^m uu + \dots + a_n \sum_1^m uz ; \\ &\dots\dots\dots \\ \sum_1^m yz &= a_1 \sum_1^m zx + a_2 \sum_1^m zu + \dots + a_n \sum_1^m zz . \end{aligned} \tag{37}$$

Розв'язавши цю систему, визначають необхідні коефіцієнти.

Приклад. Необхідно визначити коефіцієнти a_1 і a_2 в рівнянні $k = a_1 + a_2 u$. Оскільки потрібно визначити два параметри, то система рівнянь може бути подана у вигляді двох рівнянь $y = k_p$; $x_1 = 1$; $x_2 = u$.
 $= a_1 x_1 + a_2 u_2$ і $y u_2 = a_2 x_1 u_2 + a_2 u_2^2$, де $y = k_p$; $x_1 = 1$; $x_2 = u$.

Оскільки рівняння лінійне, обмежуємося чотирма серіями дослідів (таблиця 4).

Систему нормальних рівнянь можна записати у вигляді $5,48 = 4 a_1 + 1100 a_2$; $1519 = 1100 a_1 + 307350 a_2$, розв'язання яких дає $a_1 = 0,78$; $a_2 = 0,0025$. Отже, емпірична формула набуде вигляду $k_p = 0,78 + 0,0025u$.

Таблиця 4 – Результати дослідів

$u_B = u$	$y = k_p$	u^2	ux
230	1,26	52900	289,8
255	1,32	65025	336,6
295	1,40	87025	413,0
320	1,50	102400	480,0
1100	5,48	307350	1519,4

Метод найменших квадратів дає достатньо надійні результати. При цьому ступінь точності коефіцієнтів A в (34) повинна бути такою, щоб обчислені значення y збігалися із значеннями в початкових табличних значеннях. Це вимагає обчислювати значення A тим точніше, чим вище індекс A , тобто A_1 повинне бути точніше (більше число десяткових знаків), ніж A_3 ; A_3 – точніше, ніж A_2 і т.п. Для обчислення коефіцієнтів A методом найменших квадратів розрахунки необхідно проводити за типовими програмами на ЕОМ.

Регресійний аналіз. У реальних умовах часто зустрічаються ситуації, коли одному значенню аргументу відповідає декілька вимірюваних значень.

Під регресійним аналізом розуміють дослідження закономірностей між явищами (процесами), які залежать від багатьох іноді невідомих чинників. Якщо дві змінні залежать одна від одної так, що кожному значенню x відповідає певне її значення, то між ними існує функціональний або детермінований зв'язок.

Проте часто між змінними x і y існує зв'язок, але не цілком визначений. Одному значенню x відповідає декілька значень (сукупність) y . В цьому випадку зв'язок називають регресійним. Функція $y = f(x)$ є регресійною (кореляційною), якщо кожному

значенню аргументу відповідає статистичний ряд розподілу відгуку y .

Отже, регресійні залежності характеризуються ймовірнісними або стохастичними зв'язками. Тому встановлення регресійних залежностей між величинами x і y можливо лише тоді, коли здійсненні статистичні вимірювання. Статистичні залежності описують математичними моделями процесу, тобто регресійними виразами, що пов'язують незалежні значення x (чинники) із залежною змінною y (результативна ознака, функція мети, відгук). Модель по можливості повинна бути простою і адекватною.

Наприклад, модуль пружності ґрунту E залежить від його об'ємної ваги y . Із зростанням об'ємної ваги збільшується модуль пружності ґрунту. Ця закономірність виявляється тільки за наявності великої кількості вимірювань. Для кожного окремого парного зв'язку $E = f(y)$ спостерігаються великі відхилення.

Суть регресійно-кореляційного аналізу зводиться до встановлення рівняння регресії, тобто вигляду кривої між випадковими величинами, аргументами x і функцією y , оцінки тісноти зв'язків між ними, достовірності і адекватності результатів вимірювань.

Щоб заздалегідь визначити наявність кореляційного зв'язку між x і y , наносять точки на графік і будують так зване кореляційне поле (рисунок 13). За тіснотою групування точок навколо прямої або кривої лінії, за нахилом лінії можна візуально судити про наявність кореляційного зв'язку. Так, з рисунка 13, а видно, що експериментальні дані мають певний зв'язок між x і y . У той же час вимірювання, подані на рисунку 10, такого зв'язку не мають.

Кореляційне поле характеризує вигляд зв'язку між x і y . За формою поля можна орієнтовно судити про форму графіка. Навіть для цілком вираженої форми кореляційного поля унаслідок статистичного характеру зв'язку явища, яке досліджується, одне значення x може мати декілька значень y . Якщо на кореляційному полі усереднити точки, тобто для кожного значення X_i визначити X_i' і з'єднати точки Y_i' , то буде одержана ламана лінія. Цю лінію називають експериментальною регресійною залежністю (лінією).

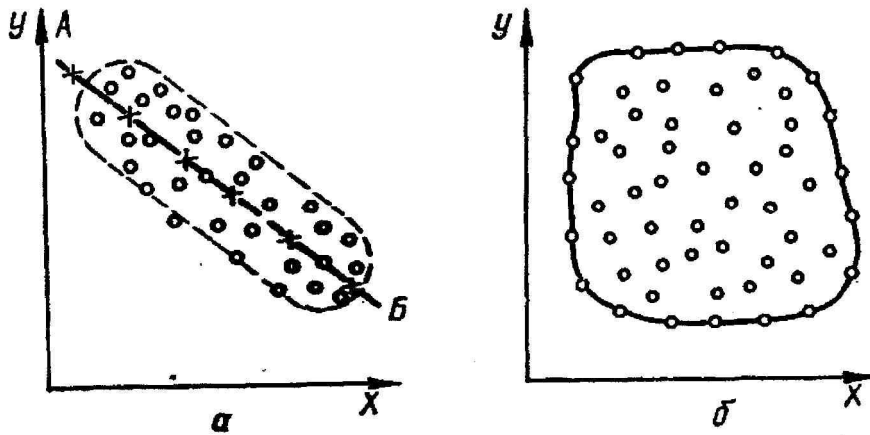


Рисунок 13 – Кореляційне поле

Якщо на кореляційному полі провести плавну лінію Y_i' , яка рівновіддалена від них, то одержимо нову теоретичну регресійну залежність (див. лінію AB на рисунку 13, а).

Розрізняють одночинникові (парні) і багаточинникові регресійні залежності.

Парна регресія. Парна залежність може бути апроксимована прямою лінією, параболою, гіперболою, логарифмічною, степеневою або показовою функцією, поліномом та ін. Двохчинникове поле можна апроксимувати площиною, параболоїдом другого порядку, гіперболоїдом. Для змінних чинників зв'язок може бути встановлений за допомогою n -вимірного простору рівняннями другого порядку

$$y = b_0 + \sum_1^n b_i x_i + \sum_1^n b_{ij} x_i x_j + \sum_1^n b_{ij} x_i^2, \quad (38)$$

де y – функція мети (відгуку) багаточинникових змінних;

x_i – незалежні чинники;

b_i – коефіцієнти регресії, що характеризують вплив чинника x_j на функцію мети;

b_{ij} – коефіцієнти, що характеризують подвійний вплив чинників x_i і x_j на функцію мети.

При побудові теоретичної регресійної залежності оптимальною буде така функція, в якій дотримуються умови

найменших квадратів $\sum (y_i - \hat{y})^2 = \min$, де y_i – фактичні ординати поля; \hat{y} – середнє значення ординати з абсцисою x , обчисленою за рівнянням. Поле кореляції апроксимують рівнянням прямої. Лінію регресії розраховують з умов найменших квадратів $y = a + bx$. При цьому крива AB (рисунок 13, а) найкращим чином вирівнює значення постійних коефіцієнтів a і b , тобто коефіцієнтів рівняння регресії. Їх обчислюють за виразами

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}; \quad (39)$$

$$a = y - bx = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n}. \quad (40)$$

Критерієм близькості кореляційної залежності між x і y до лінійної функціональної залежності є коефіцієнт кореляції r . Він показує ступінь лінійності зв'язку x і y

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}, \quad (41)$$

де n – число вимірювань.

Значення коефіцієнта кореляції завжди менше одиниці. При $r = 1,0$ x і y пов'язані функціональним зв'язком (в даному випадку лінійним), тобто кожному значенню x відповідає одне значення y . Якщо $r < 1$, то лінійного зв'язку не існує. При $r = 0$ між x і y лінійного кореляційного зв'язку не існує, проте може існувати нелінійна регресія. Звичайно рахують тісноту зв'язку задовільною при $r > 0,5$; хорошою при $r = 0,8-0,85$. Для визначення відсотка розкиду (мінливості) функції y щодо її середнього значення обчислюють коефіцієнт детермінації

$$k_d = r^2. \quad (42)$$

Рівняння регресії прямої можна подати виразом

$$y = \hat{y} + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \hat{x}). \quad (43)$$

Приклад. Є статистичний ряд парних вимірювань

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	11	14	16	21	26	27	32	34	41

Необхідно знайти рівняння прямолінійної регресії, оцінити тісноту зв'язків і оцінити міру достовірності. Розрахунок ведемо в табличній формі (таблиця 5).

$$\hat{x} = 55/10 = 5,5; \quad \hat{y} = 230/10 = 23;$$

$$\sigma_x = 82,5/10 = 8,25; \quad \sigma_y = 1054/10 = 105,4.$$

Коефіцієнт кореляції, згідно з (5.21),

$$r = \frac{10 \cdot 1558 - 55 \cdot 230}{(10 \cdot 385 - 55^2)(10 \cdot 6344 - 230^2)} = -0,99.$$

З (39) та (40)

$$b = \frac{10 \cdot 1558 - 55 \cdot 230}{10 \cdot 385 - 55^2} = 3,55;$$

$$a = \frac{230}{10} - 3,55 \frac{55}{10} = 3,48.$$

Таблиця 5 – Розрахунок рівняння регресії

Р і в н я н н я	x	y	x - \hat{x}	y - \hat{y}	(x - \hat{x}) ²	(y - \hat{y}) ²	x ²	y ²	x(y - \hat{y})	(x - \hat{x})(y - \hat{y})
1	1	8	-4,5	-15	20,25	225	1	64	-15	-67,5
2	2	11	-3,5	-12	12,25	144	4	121	-12	-42,0
3	3	14	-2,5	-9	6,25	81	9	196	-9	-22,5
4	4	16	-1,5	-7	2,25	49	16	256	-7	-10,5
5	5	21	-0,5	-4	0,25	16	25	441	-4	-16,0

)	6	6	2	0	+	0	9	3	6	1	1
)	7	7	2	1	+	2	1	4	7	1	6
)	8	8	3	2	+	6	8	6	1	2	2
)	9	9	3	3	+	1	1	8	1	3	3
0)	1	1	4	4	+	2	3	1	1	4	8
	0	1	,5	18	0,25	24	00	681	10	1,0	
Σ	5	5	2	-	-	8	1	3	6	1	2
	5	30				5,5	054	85	344	558	86

Рівняння регресії має вигляд $y = 3,48 + 3,55x$. У таблиці 6 подана збіжність експериментальної (таблиця 5) і теоретичної регресії.

Таблиця 6 – Збіжність експериментальної і теоретичної регресії

y	8	1	1	1	2	2	2	3	3	4
y	7	1	1	1	2	2	2	3	3	3
m	,1	0,6	4,2	7,7	1,8	4,8	8,3	1,9	5,4	9,0

Як видно з розрахунків, збіжність добра.

Коефіцієнт детермінації за формулою (42) $k_d = 0,99^2 = 0,98$. Це означає, що 98 % розкиду визначається мінливістю x , а 2 % - іншими причинами, тобто мінливість функції y майже повністю характеризується розкидом (природою) чинника x .

6 Аналіз і оформлення наукових досліджень

6.1 Аналіз теоретично-експериментальних досліджень і формулювання висновків і пропозицій

Основою спільного аналізу теоретичних і експериментальних досліджень є зіставлення висунутої робочої гіпотези з дослідними даними спостережень.

Теоретичні й експериментальні дані порівнюють методом

зіставлення відповідних графіків. Критеріями зіставлення можуть бути мінімальні, середні й максимальні відхилення експериментальних результатів від даних, установлених розрахунком на основі теоретичних залежностей. Можливо також обчислення середньоквадратичного відхилення й дисперсії. Однак найбільш достовірними варто вважати критерії адекватності відповідності теоретичних залежностей експериментальним.

В результаті теоретично-експериментального аналізу можуть виникнути три випадки.

1 Установлено повний або досить хороший збіг робочої гіпотези і теоретичних передумов з результатами досліду.

При цьому додатково групують отриманий матеріал досліджень таким чином, щоб з нього впливали основні положення розробленої раніше робочої гіпотези, в результаті чого остання перетворюється в доведене теоретичне положення, у теорію.

2 Експериментальні дані лише частково підтверджують положення робочої гіпотези та у тій або іншій її частині суперечать їй. У цьому випадку робочу гіпотезу змінюють і переробляють так, щоб вона найбільш повно відповідала результатам експерименту. Найчастіше роблять додаткові коректувальні експерименти з метою підтвердити зміни робочої гіпотези, після чого вона також перетворюється в теорію.

3 Робоча гіпотеза не підтверджується експериментом. Тоді її критично аналізують і повністю переглядають. Потім проводять нові експериментальні дослідження з урахуванням нової робочої гіпотези. Негативні результати наукової праці, як правило, не є непридатними, вони в багатьох випадках допомагають виробити правильні уявлення про об'єкти, явища й процеси.

Після виконаного аналізу приймають остаточне рішення, яке формулюють як висновки або пропозиції. Ця частина роботи вимагає високої кваліфікації, оскільки необхідно коротко, чітко, науково виділити те нове й істотне, що є результатом дослідження, дати йому вичерпну оцінку й визначити шляхи подальших досліджень. Звичайно, за однією темою не рекомендується складати багато висновків (не більше 5-10). Якщо ж окрім основних висновків, що відповідають поставленій меті дослідження, можна зробити ще й інші, то їх формулюють окремо, щоб не затемнити конкретної відповіді на основне завдання теми.

Всі висновки доцільно розділити на дві групи: наукові й виробничі. У наукових висновках необхідно показати, який внесок зроблено у науку в результаті виконаних досліджень (нові пропозиції, принципове розходження існуючих, спростування деяких відомих положень та ін.). У висновку потрібно розробити план впровадження закінчених НДР у виробництво й розрахувати очікуваний економічний ефект. При виконанні науково-дослідної роботи піклуються про захист державного пріоритету (першості у вирішенні певного наукового або технічного завдання) на винахід або відкриття.

6.2 Складання звітів про науково-дослідну роботу

Всі матеріали, отримані в процесі досліджень, розробляють, систематизують і оформляють у вигляді наукового звіту. До нього ставляють такі основні вимоги: чіткість побудови й логічна послідовність викладення матеріалу, стислість і точність формулювань, конкретність викладення результатів роботи, переконливість аргументації й доказовість висновків і рекомендацій.

Науковий звіт містить титульний аркуш, список виконавців, реферат, зміст, основну частину звіту, список літератури й додатки. У необхідних випадках у звіт включають перелік скорочень, символів, спеціальних термінів та їх визначень. Основна частина звіту включає: вступ; розділи (глави), що висвітлюють методика, зміст і результати виконаної роботи; висновок (висновки й пропозиції).

Вступ коротко характеризує сучасний стан питання, яке досліджується, а також мету, новизну й актуальність дослідження, необхідність його проведення. У розділах (главах) викладають докладно й послідовно зміст виконаної науково-дослідної роботи, описують результати дослідження, у тому числі й негативні. Ця частина звіту містить: коротке викладення всіх попередніх робіт різних авторів з питань дослідження, їх аналіз і критику; теоретичне

дослідження, розробку робочої гіпотези, обґрунтування методології, методу експериментальних досліджень, викладення експериментальних результатів, їх точність і аналіз, зіставлення теоретичних і експериментальних даних. Ці розділи завершуються трактуванням отриманих результатів і описом їх можливого застосування.

Висновок (висновки й пропозиції) містить оцінку результатів роботи. У цьому розділі намічають шляхи й мету подальшої роботи або мотивують недоцільність її продовження. У висновку подають техніко-економічну ефективність виконаного дослідження. Якщо цього зробити не можна, то відзначають народногосподарську, наукову цінність результатів роботи. У звітах по технічних науках відзначається також доцільність проведення дослідно-конструкторської роботи або експериментального проектування.

У додаток включають допоміжний матеріал: проміжні математичні викладення й розрахунки; таблиці допоміжних цифрових даних; протоколи й акти випробувань; опис апаратури й приладів, використаних у дослідженні; інструкції й методики, розроблені в результаті дослідження; ілюстрації допоміжного матеріалу та ін.

Спеціальною формою наукового звіту є дисертація, що містить відомості про самостійно виконану автором наукову працю. Її подають на здобуття наукового ступеня кандидата або доктора наук і захищають привселюдно на засіданні ради, що має право приймати до захисту дисертації з даної спеціальності. Дисертація повинна містити нові наукові дані, які отримані сучасними науковими методами і мають теоретичне й практичне значення.

Однією з початкових форм складання наукових звітів і наукової праці в цілому є реферати, за допомогою яких молодий дослідник (студент, аспірант, молодший науковий співробітник) вчиться самостійно аналізувати наукові факти, систематизувати, класифікувати й узагальнювати їх, висловлювати критичні зауваження по суті наукових публікацій.

При складанні реферату звичайно дотримуються такого плану: вступ, у якому характеризують теоретичне й практичне значення теми; основна частина реферату, де викладають сутність реферативних даних і критичних зауважень на них; висновок, в

якому даються оцінка й висновки автора реферату про проаналізовану інформацію. Зміст наукових звітів рецензують і доповідають у наукових колективах. Науковець повинен завжди прагнути до авторитетної критики своїх робіт, що забезпечує їх високу якість.

Рецензія (відгук про наукову працю) – це робота, у якій критично оцінюють основні положення й результати наукового дослідження, що рецензується. Особливу увагу звертають на актуальність його теоретичних положень, доцільність і оригінальність прийнятих методів дослідження, новизну й вірогідність отриманих результатів, їх практичну корисність. При складанні рецензії звичайно дотримуються такої послідовності: обґрунтування необхідності (актуальності) теми дослідження; оцінка ідейного й наукового змісту (основна частина рецензії), мови, стилю; послідовність викладу результатів дослідження; оцінка ілюстративного матеріалу, обсягу досліджень і рукопису викладу (рекомендації про скорочення або доповнення); загальні висновки; підсумкова оцінка дослідження.

Критика рецензента повинна бути принциповою, науково обґрунтованою, вибагливою, але разом з тим і чуйною, доброзичливою, сприятливою поліпшенню дослідження.

Доповідь або повідомлення містять коротке викладення основних наукових положень автора, їх практичне значення, висновки й пропозиції. Для наукової доповіді або повідомлення відводять обмежений час (10-20 хв), тому основні положення, їх аргументація повинні бути короткими й чіткими. Необхідно виділяти основну ідею доповіді, не потрібно деталізувати окремі його положення. Доповідь (повідомлення) не рекомендується читати перед аудиторією, її використовують тільки для довідок, читання цитат. Емоційність, переконливість доповідача, його вміння полемізувати забезпечують контакт із аудиторією, увагу слухачів. Головним у науковій доповіді є зміст і наукова аргументація.

Виразність і дохідливість мови при викладенні доповіді у великій мірі залежить від темпу, гучності й інтонації. Спокійна, некваплива манера викладу завжди імпонує слухачам. Доповідачеві необхідно стежити за правильністю літературної вимови, вживати слова відповідно до їх змісту. Відповідати на

питання треба коротко, по суті, проявляти скромність в оцінці своїх наукових результатів, витриманість і тактовність навіть у випадку різких виступів опонентів. Самокритичність і поважне ставлення до ділової товариської критики – важлива умова усунення недоліків у дослідженні.

У ряді випадків по доповіді складають тези, у яких коротко (одна-дві сторінки) викладають головну ідею, основу доповіді й необхідну аргументацію. Науковець повинен уміти виступати з короткою й чіткою доповіддю, вести наукову дискусію, переконливо аргументувати свої наукові положення. Це вміння виробляється систематичною наполегливою роботою над рефератами, доповідями й виступами перед науковими колективами.

6.3 Підготовка наукових матеріалів до опублікування

Як правило, публікують роботи, що містять нові наукові результати й конкретні пропозиції, які мають важливе теоретичне й практичне значення. Це видання, які містять теоретичну розробку проблем або наукове дослідження питання, або результати досліджень у галузі науки. До наукових друкованих праць відносяться монографії, брошури, статті, до навчальних видань – підручники й навчальні посібники.

Монографія – науковий добуток, у якому викладений підсумок всебічного дослідження певної теми або проблеми, виконаної одним або декількома авторами.

У статті викладаються результати, отримані з конкретного питання, що має певне наукове й практичне значення. Статтю публікують у наукових журналах або збірниках. Її обсяг не повинен перевищувати 10-12 машинописних сторінок, графічний або інший ілюстративний матеріал, допускається в мінімальній кількості, тобто не більше двох-трьох рисунків.

Підручник – навчальне видання, що містить систематизоване викладення певної навчальної дисципліни відповідно до навчальної програми й затверджено офіційною інстанцією як підручник.

Навчальний посібник – навчальне видання, що частково заміняє або доповнює підручник і затверджено офіційною інстанцією як навчальний посібник.

Підготовку матеріалів дослідження до друку необхідно проводити в такій послідовності. Складають план-проспект і систематизують матеріал дослідження, при цьому чітко дотримуються положення про те, що другорядні відомості або вже опубліковані раніше не слід розміщувати у видання, що готується. Потім розташовують підібраний матеріал по главах і параграфах. Викладають матеріал у науковому стилі, для якого характерні ясність викладення, точність слововживання, лаконізм, суворе дотримання наукової термінології, що дозволяє в можливо короткій і ощадливій формі давати чіткі визначення й характеристики наукових фактів, понять, процесів і явищ. Послідовне викладення прийнятої теоретичної позиції, логічність, глибокий взаємозв'язок теоретичних положень, виразність мови – характерні риси наукового стилю.

Всі цитати наводять за першоджерелами із вказівкою справжніх авторів цитат і джерел. Після того, як рукопис складений, уточнюють його зміст, одночасно здійснюючи ретельне редагування. На цьому етапі скорочують другорядний або додають необхідний матеріал, визначають місце в рукописі таблиць і рисунків. При літературному редагуванні працюють над поліпшенням наукового стилю добутку, переробляють окремі частини, формулюють фрази із метою досягнення чіткого викладу, перевіряють орфографію й пунктуацію, усувають архаїзми, мовні штампи. Уникають частого повторення тих самих слів, замінюючи їх синонімами.

Всі символи у формулах пояснюють текстом, розташованим безпосередньо під формулою. Не допускається позначення різних величин однаковими літерами.

Ілюстрації повинні бути ясними, чіткими. Підписи повинні чітко читатися при заданому зменшенні. До ілюстрацій складають опис підрисуночних текстів.

Таблиці створюють великі зручності при читанні тексту. Поміщаючи їх у текст, автор повинен чітко усвідомити собі, як вона буде виглядати в надрукованій книзі. Не рекомендується складати таблиці з великою кількістю граф, тому що це утрудняє розміщення їх у тексті.

Здійснюючи технічне редагування, визначають у рукописі абзаци, вказують, які слова й пропозиції необхідно виділити

спеціальним шрифтом, перевіряють правильність написання термінів, символів, знаків, шифрів, особливо в математичних, хімічних та інших формулах. Одночасно із цим визначають розміри ілюстрацій і таблиць, правильність їх оформлення. Після цього остаточно передрукують рукопис.

Стаття направляється в редакційну колегію наукового журналу або науково-тематичного збірника, а монографія – у наукове спеціалізоване видавництво. Всі матеріали, що рекомендуються до друку, подають у двох екземплярах.

Список літератури

1 Основы научных исследований [Текст]: учеб. для техн. вузов / В.И. Крутов, И.М. Грушко, В.В. Попов [и др.]; под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высш. шк., 1989. – 400 с.

2 Грушко, И.М. Основы научных исследований [Текст] / И.М. Грушко, В.М. Сидоренко. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1983. – 224 с.

3 Альтшулер, В.Г. Творчество как точная наука [Текст] / В.Г. Альтшулер. – М.: Сов. радио, 1979. – 175 с.

4 Холодов, А.М. Технічні основи створення машин [Текст]: підручник / А.М. Холодов, В.К. Руднев, В.М. Гарнець. – К.: НМК ВО, 1992. – 300 с.

5 Ангелейко, В.И. Основы научных исследований [Текст]: методические указания к лекциям / В.И. Ангелейко, А.А. Курин. – Харьков, ХИИТ, 1980. – 70 с.

6 Киевский, В.Г. Экономическая эффективность научно-исследовательских работ в строительстве [Текст] / В.Г. Киевский. – М.: Строй. издат., 1981. – 145 с.

7 Налимов, В.В. Статические методы планирования экспериментальных экспериментов [Текст] / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1971. – 340 с.

8 Руднев, В.К. Моделирование и планирование экспериментов [Текст] / В.К. Руднев, В.И. Лазаренко, И.И. Родин. – Красноярск: Изд-во Краснояр. политехн. ин-та, 1981. – 54 с.

