

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ГІРНИЧИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА РОЗРОБКИ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Конспект лекцій

з дисципліни
«ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»

для студентів освітнього ступеню «Магістр»
усіх форм навчання

спеціальність - **263 Цивільна безпека**
184 Гірництво
193 Геодезія та землеустрій
103 Науки про землю

Покровськ – 2021

УДК 001. 89(075. 8)

Конспект лекцій з дисципліни «Теорія і практика наукових досліджень» (для студентів ОС «Магістр» усіх форм навчання спеціальностей 184 Гірництво, 263 Цивільна безпека, 193 Геодезія та землеустрій, 103 Науки про землю) / Конопелько Є. І., Негрій Т. О. – Покровськ : ДонНТУ, 2021 - 172 с.

Конспект лекцій містить тематичний зміст дисципліни «Теорія і практика наукових досліджень»: вступ, вісім лекцій, в яких викладені основні питання стосовно методології та методики наукових досліджень, аналіз необхідної науково-технічної інформації, формулювання мети і завдання дослідження, планування і проведення експерименту, оцінювання похибок вимірів, оброблення результату вимірювань, які містять «промахи», формулювання висновків дослідження; складання звіту, доповіді чи статті за результатами наукового дослідження.

Укладачі: Конопелько Є. І. – доц., к.ф.-м.н., професор кафедри охорони праці;
Негрій Т. О. – к.т.н., доцент кафедри розробки родовищ корисних
копалин

Рецензент д.г.н., зав.каф. ГРЗКК Альохін В.І.

Розглянуто:
на засіданні кафедри РРКК
Протокол № 12 от 11.05.2021 р.

Розглянуто:
на засіданні навчально – методичного відділу
Протокол № 7 от 25.05.2021 р.

Затверджено:
на засіданні науково методичної комісії ДонНТУ за галуззю знань 18/19
Протокол № 7 от 25.05.2021 р.

на засіданні науково методичної комісії ДонНТУ за галуззю знань 10
Протокол № 5 от 25.05.2021 р.

на засіданні науково методичної комісії ДонНТУ за галуззю знань 26
Протокол № 4 от 12.05.2021 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Лекція № 1. ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАУКУ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
Лекція № 2. ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАУКУ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ	23
Лекція № 3. ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАУКУ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ	46
Лекція № 4. ТЕМА 2. МЕТОДИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	61
Лекція № 5. ТЕМА 2. МЕТОДИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	82
Лекція № 6. ТЕМА 3. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	104
Лекція №7. ТЕМА 3. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	131
Лекція №8. ТЕМА 3. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	144
ВИСНОВКИ	162
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	163
ДОДАТКИ	166

ВСТУП

У сучасному світі сталий розвиток суспільства, держави, суб'єктів господарювання неможливі без їх тісної взаємодії з наукою. Наука – це система знань з об'єктивних законів природи, суспільства і мислення, яка безперервно розвивається і перетворюється в результаті спеціальної діяльності людей в безпосередню продуктивну силу суспільства. Поняття «наука» має багатогранну суть, наприклад це:

- спеціальна форма суспільної свідомості, основу якої становить система знань;
- процес пізнання закономірностей об'єктивного світу, отримання нових знань і їх використання;
- вид суспільного розподілу праці;
- один з чинників суспільного розвитку і як процес виробництва.

Роль науки зростає і далі буде зростати у зв'язку з тим, що матеріальні ресурси Землі поступово вичерпуються і тому стратегія розвитку передових країн світу направлена на найшвидше отримання нових знань з метою розробки нових, більш ефективних і економічних технологій, зокрема і при добуванні та переробці корисних копалин. Україна, як держава, яка декларує свій європейський вектор розвитку має рухатись у цьому ж напрямку, нарощуючи свій науковий потенціал. Науковий потенціал держави, який складається з лабораторно-експериментальної бази, науковців і провідних фахівців у своїй галузі, становить фундамент її промисловості, економіки, обороноздатності, культури – всього, що є її сутністю і формує поняття незалежності. Цей потенціал має постійно підтримуватись, а при можливості, покращуватись. Вирішення цього завдання потребує залучення до наукової діяльності молодих фахівців, які здатні вирішувати актуальні питання сьогодення, знаходити найбільш раціональні конструктивні, технологічні, організаційні і економічні рішення і втілювати їх у життя. Для цього студенти, майбутні фахівці, мають бути озброєні знаннями в сфері наукових досліджень; орієнтуватися у відборі

наукової інформації, її аналізу, знати принципи організації і методи планування та проведення експерименту, коректної обробки отриманих результатів. Так як будь-які результати вимірювань є випадковими величинами (через неможливість виключення похибок вимірювань), то підхід до їх обробки має ґрунтуватися на методах математичної статистики і теорії ймовірності. Специфікою вимірювань в технічних науках можна вважати малу кількість вимірів, а іноді і відсутність можливості повторення вимірювань, що ускладнює точну оцінку похибок, проведення аналізу і вибір форми подання кінцевих результатів вимірювань і, отже, адекватних висновків.

Дисципліна «Теорія і практика наукових досліджень» призначена для вивчення студентами наукових основ, методів інженерних розрахунків для досягнення позитивного наукового результату з досліджуваної проблеми.

Програма дисципліни – складова навчально- методичного забезпечення підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня магістр студентів усіх форм навчання спеціальностей 184 Гірництво, 263 Цивільна безпека, 193 Геодезія та землеустрій, 103 Науки про землю. Курс дисципліни складається з курсу лекцій, практичних робіт і самостійної роботи студентів з навчально-методичною літературою, підручниками та посібниками.

ЛЕКЦІЯ 1

ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАУКУ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

План

1. Мета та головні завдання науки.
2. Класифікація наукових досліджень.
3. Структура науково-дослідних робіт.

Література: [1, 2, 6, 16, 22, 25-28]

1. Мета та головні завдання науки

Наука, в сучасному її розумінні, виникла у стародавні історичні часи для задоволення практичних потреб людей майже одночасно з появою на нашій планеті Homo sapiens. Археологічні розкопки показують, що перші знаряддя праці з каменю та кістки (сокира, ніж, скребло,) наші пращури створюють уже в епоху палеоліту, в цей же час людина приборкує вогонь і будує примітивні житла. В епоху мезоліту людина виготовляє човен, займається обробкою деревини, винаходить різноманітні більш складні знаряддя праці. У період неоліту (близько 3000 р. до Різдва Христового) людина оволодіває гончарним ремеслом, переходячи до осілого способу життя, освоює землеробство, винаходить мотику, серп, веретено, використовує метали, приручає тварин, використовуючи їх для господарських потреб як тяглову силу і засіб харчування, винаходить колісні візки. До початку 1000 р. до Різдва Христового людина починає виготовляти знаряддя праці із заліза.

Вже в античну епоху:

- складаються перші теоретичні системи знання в галузі геометрії, механіки, астрономії (Евклід, Архімед, Птоломей);
- розвивається натурфілософська концепція атомізму (Демокрит, Епікур);
- робляться спроби аналізу закономірностей суспільства і мислення (Аристотель, Платон, Геродот).

Неоціненний вклад у скарбницю науки у період середньовіччя вніс Китай. У ньому були створені компас (200 р. до Різдва Христового), перший у світі сейсмограф (132 р.), порох (492 р.), спусковий механізм для водяного годинника (725 р.), що дозволило побудувати перші точні механічні годинники, набірні літери (1290—1333 рр.), що дало поштовх для розвитку світової науки.

Велику роль у розповсюдженні цих набутоків належить арабам, що дійшли у своїх завоюваннях на сході до володінь Китаю. Араби не мали власної розвиненої культури, але добре всмоктували знання інших народів, з якими вони стикалися під час походів і подорожей. Саме вони познайомили європейців з китайськими винаходами і науковою спадщиною індійських математиків, що винайшли сучасну числову систему.

Математичні пізнання середньовічної Європи ґрунтувалися головним чином на латинських перекладах робіт Аль-Хорезмі (830 р.), які видав видатний натураліст Ібн Сіна, або Авіценна (980—1037 рр.).

Форпостом науки ранньосередньовічної Європи була мусульманська Кордова в Іспанії. У цей час у Західній Європі йде процес накопичення фактичного матеріалу з біології, робляться спроби розвитку елементів математики і дослідного природознавства.

Петро Пелерин з Марікура у 1269 року опублікував трактат про магнетизм із великою кількістю прикладів експериментів. Ченці-бенедиктинці принесли фармакологічні знання арабів до Європи. Водяні млини, які з'явилися ще у римлян, у епоху феодалізму набули у Європі широкого розповсюдження. У Північній Європі, на морському узбережжі, з часом почали використовувати енергію вітру — будувати вітряки[1].

Бурхливий розвиток науки в епоху Відродження пов'язаний з потребами нових галузей промисловості й торгівлі, мореплавства і військової техніки. Наука пориває з теологією, утверджуючи в роботах Джордано Бруно, Леонардо да Вінчі, Френсіса Бекона матеріалістичний підхід до навколишнього світу. Багато вчених присвячує своє життя експериментальному вивченню природи, її закономірностей, що визначає новий етап розвитку науки. Микола Коперник,

Галілео Галілей своїми дослідженнями зробили справжній переворот у астрономії.

Завдяки працям Ісаака Ньютона, Готфріда Вільгельма Лейбніца, Рене Декарта, Джона Дальтона, Карла Ліннея, Михайло Ломоносова та інших науковців у часи зародження капіталізму у XVII—XVIII століттях створюються класична механіка, диференціальне й інтегральне числення, аналітична геометрія, хімічна атомістика, система класифікації рослин і тварин, стверджується принцип збереження матерії і руху. У цей же час відбувається подальше оформлення науки як соціального інституту, створюються перші європейські академії, наукові товариства, починається видання наукової періодичної літератури.

У зв'язку з промисловим переворотом кінця XVIII століття почався новий прискорений етап у розвитку науки. В XIX столітті виникли нові фізичні дисципліни (термодинаміка, електродинаміка класична), створюються еволюційні вчення і клітинна теорія в біології, формулюються закони збереження і перетворення енергії, розвиваються нові концепції в астрономії і математиці: Джеймс Клерк Максвелл, Майкл Фарадей, Жан Батист Ламарк, Чарльз Дарвін, Теодор Шванн, Маттіас Шлейден та інші.

Наприкінці XVIII — XIX століть в Росії працювала плеяда видатних учених: Олександр Бутлеров, Петро Лебедєв, Микола Лобачевський, Дмитро Менделєєв, Олександр Попов, Климент Тімірязєв, Олександр Столетов, Костянтин Ціолковський та інші, роботи яких знайшли світове визнання.

В Україні піднесення науки починається у першій половині XVIII століття завдяки працям Феофана Прокоповича, Григорія Сковороди та інших. Починає працювати Київська академія. У XIX столітті визнаними науковими центрами стали Харківський і Київський університети, Новоросійський університет в Одесі, де працювали видатні російські вчені Іван Сеченов, Ілля Мечников, Микола Пирогов, Олександр Ковалевський, Василь Докучаєв та інші, а також відомі українські вчені: Михайло Максимович, Володимир Бец, Микола Пильчиков, Андрій Потебня та інші.

На межі XIX—XX століть революційні відкриття у фізиці (електрон, рентгенівське випромінювання, радіоактивність тощо) призводять до зміни наукової картини світу, кризи класичного природознавства і насамперед його механістичної методології. У XX значних успіхів досягли математика і фізика, виникли такі галузі технічних наук, як радіотехніка, електроніка. З'явилась кібернетика, яка збільшує свій вплив на подальший розвиток науки і техніки. Успіхи фізики і хімії сприяють глибшому вивченню біологічних процесів у клітинах, що стимулює розвиток сільськогосподарських і медичних наук. Відбувається тісне зближення науки з виробництвом, зростають і зміцнюються її зв'язки з суспільним життям.

Наука в СРСР, яка ґрунтувалась на діалектико-матеріалістичній методології, займає важливе місце в історичному розвитку людства. У космосі слідом за польотом першого у світі супутника Землі і першого у світі космічного польоту людини, здійсненого Ю. О. Гагаріним, почали працювати космічні станції з космонавтами на борту, розроблялися шляхи мирного використання термоядерної енергії. Радянська наука зробила значний внесок в дослідженні галактик, становленні зоряної космології, в розвиток проблем квантової оптики, фізики напівпровідників та в інших напрямках.

Розвиток науки завжди тісно пов'язаний з розвитком продуктивних сил і зумовлюється потребами виробництва й суспільства. Розуміння поступу науки жодним чином не може бути зведене лише до історії нагромадження знань, але й без відповідних досліджень такої історії неможливо пізнати закономірностей розвитку науки. Час від часу в науці виникають ситуації, коли результати нових експериментів не вдається пояснити за допомогою наявних теоретичних схем, і тоді доводиться шукати кардинально нові ідеї й теорії, що революціонізують шляхи наук. пізнання. А це викликає так звані наукові революції. На початку 60-х рр. XX ст. американський історик і філософ науки Т. Кун у книзі «Структура наукових революцій» сформулював нову концепцію розвитку науки, згідно з якою поступ науки відбувається не шляхом «накладання» нового знання на старе, а через періодичні докорінні трансформації основних наукових уявлень

(парадигм). Чергування екстенсивних та революційних періодів розвитку наукового пізнання притаманне як для науки в цілому, так і для її окремих галузей.

Проте це характерно лише для розвитку вже сформованої науки. Одним із важливих завдань історії науки є побудова періодизаційної схеми розвитку науки на основі визначення її ключових, переломних подій. Така схема дає можливість чіткіше уявити процес розвитку науки в цілому та її окремих дисциплін, виявити точки росту, простежити генезис ідей, напрямів, еволюцію знань.

Вирішальна роль у розвитку науки належить видатним ученим, творчість яких ставала переломним моментом у розвитку наукових знань. Такими вченими були: астроном М. Коперник, фізики Г.Галілей, І.Ньютон, М.-К.Планк та А. Ейнштейн, біолог Ч.-Р. Дарвін, математик Дж. фон Нейман та ін. Тому історія науки – це не тільки історія ідей (іманентна концепція), а й людей, які створюють науку.

Однак, не зважаючи на такий довгий час свого становлення та розвитку, слова «**наука**» і «**учений**» увійшли у вжиток лише в XVIII – XX століттях, а до цього дослідники-натуралісти називали своє заняття «натуральною філософією».

Наука – це система знань з об'єктивних законів природи, суспільства і мислення, яка безперервно розвивається і перетворюється в результаті спеціальної діяльності людей в безпосередню продуктивну силу суспільства.

Поняття «наука» має багатогранну суть, наприклад, це:

- спеціальна форма суспільної свідомості, основу якої становить система знань;
- процес пізнання закономірностей об'єктивного світу, отримання нових знань і їх використання;
- вид суспільного розподілу праці;
- один з чинників суспільного розвитку і як процес виробництва.

Не всяке знання можна розглядати як наукове. Не можна визнавати науковими ті знання, які отримує людина лише на основі простого спостереження. Ці знання грають в житті людей важливу роль, але вони не розкривають суті явищ, взаємозв'язку між ними, що не дозволяє пояснити, чому дане явище протікає так чи інакше, і, головне, передбачити подальший його розвиток.

Правильність наукового знання визначається не тільки логікою, але, перш за все, обов'язковою перевіркою його на практиці. Наукові знання принципово відрізняються від сліпої віри, від беззаперечного визнання істинним того або іншого положення, без будь-якого логічного його обґрунтування і практичної перевірки. Розкриваючи закономірні зв'язки між явищами, предметами, подіями, наука виражає їх в абстрактних поняттях і схемах, строго адекватних дійсності, об'єктивній реальності.

Основною ознакою і головною функцією науки є пізнання об'єктивного світу. Наука створена для безпосереднього виявлення істотних сторін всіх явищ природи, суспільства і мислення, процесів, які відбуваються у них:

- **процес** – зміна стану розглянутого предмета чи явища;

- **явище** – зовнішні властивості і ознаки предмета, що пізнаються при емпіричному, чуттєвому пізнанні.

Мета науки – пізнання законів розвитку природи і суспільства та вплив на природу на основі використання знань для отримання корисних суспільству результатів. Поки відповідні закони не відкриті, людина може лише описувати явища, збирати, систематизувати факти, але він нічого не може пояснити або передбачити.

Розвиток науки йде від збору фактів, їх вивчення і систематизації, узагальнення окремих закономірностей до пов'язаної, логічної системи наукових знань, яка дозволяє пояснити вже відомі факти і передбачити нові. Шлях діалектичного пізнання визначається формулюванням: від живого споглядання до абстрактного мислення і, від останнього, до практики.

Процес пізнання включає накопичення фактів. Без систематизації і узагальнення, без логічного осмислення фактів не може існувати жодна наука. Але хоча факти – це повітря вченого, самі по собі вони ще не наука. Факти стають складовою частиною наукових знань тільки тоді, коли вони представлені у систематизованому, узагальненому виді.

Факти систематизують і узагальнюють за допомогою найпростіших абстракцій – понять (визначень), що є необхідними і важливими структурними елементами науки. Найбільш широкі поняття називають категоріями. Це найзагальніші абстракції. До категорій відносяться філософські поняття про форму та зміст, сутність і явище тощо. Важливою формою знань є принципи (постулати), аксіоми. Під принципом розуміють вихідні положення будь-якої галузі науки, які сприймаються без доказів і є початковою формою систематизації знань (аксіоми геометрії Лобачевського або евклідової, постулат Бора в квантовій механіці тощо).

Найважливішим елементом у системі наукових знань є наукові закони, що відображають найбільш суттєві, стійкі, повторювані об'єктивні внутрішні зв'язки в природі, суспільстві і мисленні. Зазвичай закони виступають у формі певного співвідношення понять, категорій.

Найбільш високою формою узагальнення і систематизації знань є теорія. Під теорією розуміють вчення про узагальнений досвід (практику), що формулює наукові принципи і методи, які дозволяють узагальнювати і пізнавати процеси і явища, існуючі навколо нас і в оточуючому світі в цілому, аналізувати дію на них різних факторів і розробляти рекомендації і заходи щодо використання їх в практичній діяльності на користь людини.

Для вивчення будь-якого явища або процесу розроблені методи дослідження – спосіб теоретичного або практичного їх дослідження. Метод – це інструмент для вирішення головного завдання науки – відкриття об'єктивних законів дійсності. Метод визначає необхідність і місце застосування таких понять, як індукція і дедукція, аналіз і синтез, порівняння теоретичних і експериментальних досліджень тощо.

Будь-яка наукова теорія, пояснюючи характер тих чи інших процесів дійсності, завжди пов'язана з певним приватним методом дослідження. Спираючись на загальні і приватні методи дослідження, вчений отримує відповідь на те, з чого треба починати дослідження, як ставитися до фактів, як узагальнювати, яким шляхом йти до висновків.

В даний час все більшого значення набуває математичний метод дослідження, тобто метод кількісного вивчення явищ і процесів (в останні часи із застосуванням обчислювальної техніки).

Коли вчені не мають достатнього обсягу фактичного матеріалу, то, як засіб досягнення наукових результатів, вони використовують гіпотези – науково обґрунтовані припущення, висунуті для пояснення будь-якого процесу, які після перевірки можуть виявитися істинними або помилковими. Гіпотеза часто виступає як первинне формулювання, чорновий варіант законів, що можуть бути відкриті.

Наука у даний час стала базисом для створення нових галузей виробництва, продуктивною силою суспільства, що проявляється в глибоких змінах у взаєминах науки і виробництва, що ілюструється наступним:

- по-перше, багато нових видів виробництва і технологічні процеси спочатку зароджуються в надрах науки, науково-дослідних інститутах (наприклад- атомна енергетика, хімічні технології, отримання надтвердих матеріалів).
- по-друге, скорочуються терміни між науковим відкриттям і його впровадженням у виробництво. Раніше з часу наукового відкриття або винаходу (наприклад - фотографії, електрики) до їх практичного застосування проходили десятиліття, натомість з дня відкриття лазера та до його освоєння практикою пройшло всього кілька років; це характерно і для атомної енергетики і напівпровідників тощо.
- по-третє, в самому виробництві успішно проводяться наукові дослідження, зростає в них мережа наукових установ, підприємства переростають в науково-промислові комплекси.

Наука за своїм походженням є громадською структурою, підкоряючись загальним законам розвитку і використанню. Будь-яке наукове відкриття є загальною працею багатьох наукових установ і окремих вчених; в кожен момент часу наука виступає як сумарне вираження людських успіхів у пізнанні світу. Тому по-справжньому ефективно вона може розвиватися і використовуватися тільки з появою суспільного характеру продуктивних сил, з розвитком суспільної праці і виробництва у великих масштабах.

Для підвищення ефективності науки і прискорення науково-технічного прогресу існує три групи основних можливостей:

- можливості першої групи знаходяться в сфері безпосередньої творчої діяльності дослідників і полягають у підвищенні методологічного рівня наукової роботи, у висуванні нових, більш глибоких ідей, в освоєнні перспективних методів досліджень, розробці, виготовленні і застосуванні у дослідженнях сучасного, більш чутливого і надійного наукового обладнання;
- можливості другої – в сфері управління науковим процесом і полягають у створенні найбільш сприятливих умов для плідної праці всіх категорій працівників науки і по всьому спектру сучасного наукового процесу;
- можливості третьої полягають у вдосконаленні соціального, перш за все економічного механізму, що сприяє якнайшвидшому освоєнню наукових результатів виробництва і суспільної практики в цілому.

2. Класифікація наукових досліджень

Формою здійснення і розвитку науки є наукове дослідження, тобто вивчення явищ і процесів за допомогою наукових методів, аналіз впливу на них різних факторів, а також вивчення взаємодії між явищами з метою отримання переконливо доведених і корисних для науки та практики, і в кінці кінців для людини, знань для вирішення нагальних її проблем з максимальним ефектом.

Наукові дослідження класифікують за різними ознаками:

- а) за видами зв'язку з виробництвом:

- наукові дослідження, спрямовані на створення нових процесів, машин, конструкцій тощо, повністю використовуваних для підвищення ефективності виробництва;

- наукові дослідження, спрямовані на поліпшення виробничих відносин, підвищення рівня організації виробництва без створення нових засобів праці;

- теоретичні роботи в галузі суспільних, гуманітарних та інших наук, які використовуються для вдосконалення суспільних відносин.

б) за ступенем важливості:

- роботи, що виконуються за завданням Кабінету Міністрів України, центральних органів виконавчої влади;

- роботи, що виконуються на замовлення регіональних органів;

- дослідження, що виконуються за планом (за ініціативою) науково-дослідних організацій або науково-виробничих об'єднань.

в) в залежності від джерел фінансування:

- держбюджетні, що фінансуються з коштів державного бюджету;

- госпдоговірні, що фінансуються відповідно до укладених договорів між організаціями-замовниками, які використовують наукові дослідження в даній галузі, і організаціями, які виконують дослідження.

г) за тривалістю розробки;

- довгострокові, що розробляються протягом декількох років;

- короткострокові, що виконуються зазвичай за один рік.

У науково-дослідних розробках розрізняють:

- наукові напрямки;

- проблеми;

- теми.

Науковий напрямок – це комплексне наукове дослідження будь-якого великого та важливого теоретичного і (або) експериментального завдання в певній галузі науки. Структурними одиницями напрямку є проблеми, теми і питання.

Проблема – це складна наукова задача, для вирішення якої необхідно, як правило, провести значний обсяг досліджень, результати яких можуть мати теоретичне або практичне застосування (отримання нових знань про об'єкт досліджень для створення нових технологій і розробки техніки для її реалізації). Корисність таких завдань і їх економічний ефект іноді можна визначити тільки орієнтовно.

Проблема складається з ряду тем. **Тема** – це наукове завдання, яке охоплює певну область наукового дослідження і розбивається на ряд дослідницьких питань. *Наукові питання* – це більш дрібні наукові завдання, які стосуються конкретної галузі наукового дослідження. Результати вирішення цих завдань мають не тільки теоретичне, але, насамперед, практичне значення, для них можна порівняно точно встановити очікуваний економічний ефект.

3. Основні етапи проведення досліджень

Дослідницьку роботу виконують в певній послідовності. Процес виконання включає в себе шість етапів:

- 1) формулювання теми;
- 2) формулювання мети і завдань дослідження;
- 3) теоретичні дослідження;
- 4) експериментальні дослідження;
- 5) аналіз і оформлення наукових досліджень;
- 6) впровадження і ефективність наукових досліджень.

Кожне наукове дослідження має тему. Темою можуть бути різні питання науки і техніки. Обґрунтування теми – це важливий етап в розробці наукового дослідження. При розробці теми або питання висувається конкретне завдання в дослідженні – розробити нову конструкцію, прогресивну технологію, нову методику тощо. Вибору теми передують ретельне ознайомлення з вітчизняними і зарубіжними джерелами даної та суміжної спеціальності. Постановка (вибір) проблем або тем є важким, відповідальним завданням, включає в себе ряд етапів.

На етапі формулювання проблеми на основі аналізу протиріч досліджуваного напрямку формулюють основне питання – проблему, встановлюють її актуальність, тобто цінність на даний час для науки і техніки і визначають в загальних рисах очікуваний результат.

Другий етап включає в себе розробку структури проблеми: виділяються і формулюються теми, підтеми, питання, мета і завдання дослідження. Сукупність цих компонентів повинна становити древо проблеми. По кожній структурній одиниці визначають орієнтовну область дослідження.

На цих етапах важливо відрізнити псевдопроблеми від наукових проблем. Псевдопроблеми (помилкові, уявні) яку б не мали зовнішню форму, в основі своїй мають антинауковий характер.

При обґрунтуванні проблем їх колективно обговорюють на засіданнях вчених рад, кафедр у виді публічної презентації проблеми, що пропонується. Після обговорення, на якому виступають опоненти, приймаються остаточні рішення. Після узгодження проблеми і встановлення її структури науковець (або колектив), як правило, самостійно приступає до вибору теми наукового дослідження.

До теми пред'являють ряд вимог:

1. Тема повинна бути актуальною, тобто важливою, що вимагає вирішення саме в даний час. Це вимога одна з основних. Критерію для встановлення ступеня актуальності поки що немає. Так, при порівнянні двох тем теоретичних досліджень ступінь актуальності може оцінити авторитетний вчений в даній галузі або науковий колектив. При оцінці актуальності прикладних наукових розробок, як правило, більш актуальна та тема, яка забезпечить більший економічний ефект.

2. Тема повинна вирішувати нову наукову задачу. Це означає, що тема в такій постановці ніколи не розроблялася і в даний час не розробляється, тобто дублювання виключається. Однак, з метою розв'язання найважливіших державних проблем в найкоротші терміни (як це було, наприклад, у часи Другої світової війни у галузі літакобудування в СРСР) за завданням керівних

організацій однакові теми розробляють два конкуруючих колективу. Дублювання можливо тільки у таких випадках і іноді може бути однією з вимог.

Грань між науковими та інженерними дослідженнями з кожним роком все більше стирається. Однак при виборі тем новизна повинна бути не інженерною, а науковою, тобто принципово новою. Якщо розробляється навіть нове завдання, але на основі вже відкритого закону, то це область інженерно-економічних, а не наукових розробок. Тому необхідно відрізнити наукову задачу від інженерно-економічної. Критерієм цього може бути наступне:

Все те, що вже відомо, не може бути предметом наукового дослідження.

3. Тема повинна бути економічно ефективною і значущою.

Для прикладних досліджень економічний ефект - одне з найважливіших вимог. На стадії вибору теми дослідження очікуваний економічний ефект може бути визначений, як правило, орієнтовно. Іноді економічний ефект на початковій стадії встановити взагалі не можна. У таких випадках для економічної оцінки ефективності можна використовувати аналогічні дослідження (близькі за змістом теми).

При розробці теоретичних досліджень вимога економічності може поступатися вимозі значущості. Значимість, як головний критерій теми, має місце при розробці досліджень, що визначають престиж вітчизняної науки або складають фундамент для прикладних досліджень, або спрямованих на вдосконалення суспільних і виробничих відносин та ін.

4. Тема повинна відповідати профілю наукової діяльності колективу. Кожен науковий колектив за сформованими традиціями має свій профіль, кваліфікацію, компетентність. Така спеціалізація сприяє накопиченню досвіду у відповідній галузі досліджень, що дає свої позитивні результати: підвищується теоретичний рівень розробок, якість і економічна їх ефективність, скорочується термін виконання дослідження.

Однак, не можна впадати в крайнощі, застосовуючи цей принцип. Якщо допускати монополію в науці, то виключається змагання ідей. Це може знизити

ефективність наукових досліджень. Замовнику буде надаватися наукова продукція, яка не завжди може відображати найкращі показники.

Для підвищення інтересу співробітників до роботи, розвитку їх творчих сил в колективі може бути кілька (приблизно до 10%) непрофільних тем, що не відрізняються різко від основної тематики колективу.

Важливою характеристикою теми є її здійсненність. При постановці теми слід оцінити можливість її закінчення в плановий термін і впровадження у виробничих умовах замовника. Якщо це не можна здійснити взагалі або здійснити у терміни, які не влаштовують замовника, то така тема підлягає відбракуванню. Для проведення такої оцінки окремих науковець або творчий колектив повинен знати умови виробництва та технологічні процеси на дільниці, де планується впровадження даної теми.

Для цього доцільно організовувати відрядження в великі виробничі об'єднання, управління, підприємства, що займаються впровадженням. Бажано провести обговорення теми, що планується, фахівцями-виробниками галузевих і академічних інститутів, з провідними науковцями кафедр споріднених ВУЗів.

Істотно спрощується методика вибору тем в науковому колективі, що має наукові традиції (свій профіль) і розробляє велику комплексну проблему. У таких колективах наукові дослідження виконують не одинаки, а групи, що спеціалізуються на розробці тих чи інших питань. В них молодий науковець, як правило, отримує тему, яка була обґрунтована раніше. Імовірність отримати не нову, чи неефективну тему мінімальна. При колективній розробці наукових досліджень велику роль набувають критика, дискусія, обговорення проблем і тем. В процесі дискусії виявляються нові, ще не вирішені актуальні завдання різного ступеня важливості, термінів розробки.

Велике значення для вибору тематики має чітке формулювання загальних завдань замовником (міністерством, відомством та ін.).

Науковий керівник колективу повинен з великою увагою поставитися до пропозицій співробітників, які можуть запропонувати розробку, на їх погляд, цікавих і перспективних тем або питань. При складанні загальної програми

досліджень необхідно мати на увазі, що в процесі наукових розробок можливі деякі зміни в тематиці. Певна роль в цьому належить замовнику, який в залежності від виробничої обстановки вносить корективи, висуваючи на перше місце першочергові завдання.

Важливе місце при розробці загальної програми дослідження має розподілення досліджень на довгострокові і короткострокові, фундаментальні і прикладні. Співвідношення між ними у загальній програмі залежить від багатьох чинників; вимог замовника, наукового потенціалу колективу, наявності відповідної лабораторно-експериментальної бази, працездатності колективу і його наукової доробки з конкретного питання тощо.

Наведені вище вимоги (критерії), що пред'являються до вибору тем, дозволяють всебічно оцінити і встановити придатність їх для даної науково-дослідницької організації.

Однак в процесі розробки тем, особливо довгострокових, їх актуальність і економічність іноді можуть змінюватися в гіршу сторону (так як витрати на виконання науково-дослідної роботи, зазвичай, зростають), то дуже важливим критерієм при виборі тем є їх перспективність або стабільність. Тому для отримання більш коректних прогнозованих показників тільки суб'єктивних методів оцінки недостатньо і мають використовуватись чисельні методи. Для оцінки перспективності тем у даний час застосовуються два методи – математичний і експертних оцінок.

Математичний метод заснований на використанні різних показників, що визначають перспективність досліджень.

Найбільш часто в прикладних темах застосовують показник перспективності K_{Π} , в основі якого лежать економічні показники:

$$K_{\Pi} = \frac{V_{\Gamma} C_{\text{од}} P_{\text{Н}} P_{\text{В}} \sqrt{T}}{З_{\text{и}} + З_{\text{осв}} + З_{\Gamma}}, \quad (1.1)$$

де V_{Γ} – річний обсяг продукції, що впроваджується після освоєння даної теми, одиниць;

$C_{од}$ – вартість одиниці продукції, грн;

P_H – ймовірність наукового успіху в розробці теми;

P_B – ймовірність впровадження наукових розробок;

T – тривалість розробки і виробничого впровадження, років;

$Z_{и}$ – загальні витрати на наукове дослідження, грн;

$Z_{осв}$ – витрати на дослідне і промислове освоєння, грн;

$Z_{г}$ – щорічні витрати на виробництво продукції, грн.

Чим вище показник $K_{л}$, тим перспективніша тема, що планується до розробки.

Показник перспективності теми може бути іншим:

$$K_{п} = \frac{Э_{об}}{Z_{и}} (1 - P_p), \quad (1.2)$$

де $Э_{об}$ – загальний очікуваний економічний ефект;

P_p – ймовірність ризику.

У формулах (1.1) і (1.2) значення P_H , P_B , P_p встановлюються на основі прогнозів.

Суть методу експертних оцінок полягає в тому, що плановану тему оцінюють фахівці-експерти. Кожному експерту видається оціночна бальна шкала, за допомогою якої він встановлює бали по темі.

У таблиці 1.1 наведено приклад варіанту оціночної системи.

У Додатку Д наведено приклад бланку проведення експертного опитування

Після відповіді експертів на запитання, результати обробляють різними методами. Найбільш простим є метод максимального балу – віддають перевагу тій темі, яка набирає найбільший сумарний бал. Після всього цього тема ще раз розглядається, обговорюється на засіданні вченої ради кафедри, факультету, лабораторії, НДІ, ВНЗ та ін., затверджується і приймається рішення про її розробку.

Таблиця 1.1 – Варіант оціночної системи

Критерій перспективності теми	Шкала критеріїв	Бали
Актуальність теми	неактуальна	- 2
	Частково-актуальна	- 1
	актуальна	+ 1
	дуже актуальна	+ 2
Тривалість розробки	Понад три роки	- 2
	2-3 роки	- 1
	1 -2 року	+ 1
	менш року	+ 2
Можливість впровадження	Дуже важко	- 2
	важко	- 1
	легко	+ 1
	Дуже легко	+ 2
Очікуваний економічний ефект, грн. (на 1 грн. витрат на використання)	Менше 1 грн.	- 2
	1 - 2 грн.	- 1
	2 - 5 грн.	+ 1
	Більше 5 грн.	+ 2

Контрольні питання:

1. Що таке наука?
2. Мета науки.
3. Складові частки системи наукових знань.
4. У чому виражаються особливості сучасного стану науки.
5. Назвіть етапи виконання дослідницької роботи.
6. Назвіть ознаки за якими класифікують наукові дослідження.
7. Що таке науковий напрямок?
8. Що таке наукова проблема?
9. Назвіть етапи постановки наукової теми.
10. Які критерії пред'являються до вибору наукової теми?

ЛЕКЦІЯ 2

ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАУКУ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

План

1. Наукова продукція.
2. Загальні вимоги до звіту з НДР.
3. Правила оформлення звіту НДР.
4. Вимоги до магістерської роботи.
5. Оприлюднення результатів наукової роботи.

Література: [1, 2, 4, 6, 10, 15, 19]

1. Наукова продукція

Одним із наслідків наукової діяльності людства є створення великої кількості наукової та науково-технічної продукції, яка реалізується у виді наукових документів. Вони за своєю структурою поділяються на такі групи: книжки та брошури, періодичні видання, спеціальні видання та рукописи. До першої групи належать монографії, навчальні видання (підручники і навчальні посібники), довідники, матеріали конференцій, з'їздів, семінарів тощо.

До другої – матеріали з продовженням, такі як журнали, бюлетені, газети, відомості тощо.

До третьої – нормативно-технічні документи, нормативно-виробничі довідки, рекламні видання, патентно-ліцензійна документація тощо.

До четвертої – наукові звіти та доповіді, інформаційні відомості про проведення наукових зібрань (конференцій, з'їздів, симпозіумів тощо).

Розглянемо найважливіші з них.

Книжки – це багатосторінкове неперіодичне видання, які в концентрованому виді надають накопичені людством знання з конкретного наукового питання. Обсяг видання має становити не менше 48 сторінок.

Брошура – це документ, який висвітлює оперативну інформацію з окремого питання і має обсяг до 48 сторінок.

Серед цієї групи велике наукове значення мають монографії.

Монографія – наукове видання, в якому наведені результати всебічного або вивчення однієї теми або проблеми і належить одному або кільком авторам.

Підручник – неперіодичне навчальне видання, у якому у систематизованому виді певно викладена у зручній для сприйняття навчальна дисципліна відповідно до навчальної програми та затверджено офіційною інстанцією як підручник.

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

Підготовку цих видань копітка робота, бо потребує окремої уваги, великих витрат часу, а відомості за цей час можуть застарівати.

Підготовку до друку необхідно проводити в такій послідовності:

- складається план-проспект майбутнього видання і систематизується матеріал;
- відбраковуються другорядні відомості і опубліковані раніше;
- підібраний матеріал розташовується по главам і параграфами.

Матеріал має викладатися з додержанням наукового стилю, для якого характерні ясність, точність, лаконізм; дотримання наукової термінології, що дозволяє давати чіткі визначення і характеристики наукових фактів, понять, процесів і явищ. Послідовний виклад прийнятої теоретичної позиції, логічність, глибокий взаємозв'язок теоретичних положень з експериментальними результатами, виразність мови – характерні риси наукового стилю.

Всі цитати мають приводитись за першоджерелами із зазначенням їх авторів і джерел цитування.

Матеріали друкують на одному боці аркуша паперу формату А4 через 1,5-2 інтервалу, для забезпечення можливості подальшого редагування та доповнення.

Після того як рукопис складений, уточняється його зміст та здійснюється ретельне редагування: скорочується другорядний або додається необхідний матеріал, визначають місце в рукописі таблиць і рисунків, відбувається літературне редагування, поліпшення наукового стилю роботи, переробляють окремі частини, формулювання фраз з метою досягнення чіткого викладу, перевіряють орфографію і пунктуацію.

Здійснюючи технічне редагування, визначають в рукописи абзаци, вказують, які слова і пропозиції необхідно виділити спеціальним шрифтом, перевіряють правильність написання термінів, позначок, шрифтів, особливо в математичних, хімічних та інших формулах. Одночасно з цим визначають розміри ілюстрацій і таблиць, правильність їх оформлення. Після цього остаточно передрукують рукопис. У друкованому тексті зазначають на полях місце розташування рисунків і таблиць; умовні позначки, помічені помилки.

При вписування формул необхідно ясно вказати, які з символів будуть набрані прописними буквами, які малими. Це особливо важливо для букв однакового накреслення (S , s , P , p і т.д.); їх позначають особливо: прописні підкреслюють двома рисками знизу, малі – двома рисками зверху. Спеціальними знаками виділяють показники ступеня, індекси; літери грецького алфавіту обводять червоним чорнилом. Всі символи в формулах пояснюють в тексті, розташованому безпосередньо під формулою. Не допускається позначення різних величин однаковими буквами.

Ілюстрації повинні бути ясними, чіткими і задовольняти вимогам державних стандартів, дозволяючи їх копіювання, підписи повинні легко зчитуватися при заданому зменшенні.

Таблиці створюють найбільші незручності при читанні тексту. Помістивши їх в текст, автор повинен чітко усвідомити собі, як вони будуть виглядати в надрукованій книзі. Не рекомендується складати таблиці з великою кількістю граф, так як це ускладнює розміщення їх в тексті.

Більшу оперативність мають наукові статті, які публікуються в наукових журналах і (або) в збірниках. Її обсяг не повинен перевищувати 10 машинописних сторінок; графічний або інший ілюстрований матеріал допускається, зазвичай, в кількості не більше двох-трьох (конкретизація вимог надається відповідними редакційними колеґіями).

Стаття надсилається до редакційної колеґії наукового журналу або науково-технічного збірника, а монографія – в наукове спеціалізоване видавництво.

Найоперативнішим джерелом інформації становлять періодичні видання, що виходять через певні проміжки часу, з типовим оформленням і не повторюються за змістом: газети та журнали та такі, які видаються через невизначені терміни часу, що пов'язано з необхідністю накопичення матеріалу: збірки наукових праць НДІ, ВНДІів, наукових товариств тощо («Праці», «Вчені записки», «Відомості» тощо)

Стандарти – нормативно-технічна документація, в якій визначено сукупність норм, правил і вимог до об'єктів стандартизації: параметри та розміри, типи, конструкції, методи контролю, правила експлуатації та ремонту, технічні процеси тощо. Найважливіше значення у постановці НДР і якості її виконання має патентна документація, в якій розміщується інформація про відкриття, винаходи, раціоналізаторські пропозиції тощо. Патентна інформація проходить обов'язкову експертизу на новизну і корисність і тому має найвищий ступінь достовірності.

Рукописні документи – це документи, які не видані засобами поліграфії і не піддавалися редакційному редагуванню.

Дисертація – це закінчена наукова робота науковця для здобуття наукового ступеня кандидата або доктора наук, в якій висвітлено стан проблеми, її актуальність, результати теоретичних чи/та експериментальних досліджень, які відрізняються новизною і на базі яких зроблені висновки, розроблені рекомендації та висунуті положення, що захищаються у даній роботі.

Особливим рукописним документом є депоновані рукописи, які призначені для ознайомлення окремих груп фахівців, які працюють у цій галузі. Треба відзначити, що автори депонованих рукописів зберігають право на їх публікацію у наукових виданнях, необхідно тільки зробити посилання на депонований рукопис і вказати місце його зберігання; в Україні це інститут науково-технічної інформації та техніко-економічних досліджень.

2. Загальні вимоги до звітів з науково-дослідної роботи

Особливо значне місце у цьому «океані» наукових матеріалів мають звіти з наукової роботи (науково-дослідної – НДР, дослідно-конструкторської – ДКР і науково-дослідної та дослідно-конструкторської, яким у останній час приділяється основна увага, - НДДКР).

Ця значущість обумовлена тим, що:

- по-перше, у звітах міститься найсвіжіша інформація (по параметру оперативності вона знаходиться на рівні статей і доповідей);
- по друге, у них проходить апробація робочих гіпотез, висунутих для пояснення отриманих нових знань;
- по-третє, в них проводиться достатньо глибокий аналіз сучасного стану питання чи проблеми, яким присвячена дослідницька робота (по цьому параметру вона знаходиться на рівні монографій, але значно випереджає їх у часі, принаймні на 3-4 роки).

Саме з комплексу цих причин вона є найбільш цікавою і корисною для дослідника.

Звіт, оформлений у виді наукової роботи, містить всі матеріали, які отримали в процесі дослідження. Він містить вичерпні систематизовані відомості про виконану роботу. Загальні вимоги до науково-дослідної роботи наступні:

- чіткість і логічна послідовність викладу матеріалу;
- переконливість аргументації;

- стислість і точність формулювань, що виключають можливість неоднозначного тлумачення;
- конкретність викладу результатів роботи;
- обґрунтованість рекомендацій та пропозицій.

При складанні наукових звітів слід керуватися вимогами ДСТУ 3008-2015 (Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення).

Згідно з ним структура звіту складається із:

- вступної частини, яка містить у собі такі елементи: титульний аркуш, список виконавців і співвиконавців, реферат, скорочення та умовні позначення (при необхідності) і передмову;
- основної частини, яка містить вступ, (суть) змістову частину, розділи, що відображають методiku, зміст і результати виконаної роботи, висновки, рекомендації, перелік джерел посилань;
- додатків (при необхідності).

Титульний лист має містити у собі всю інформацію, необхідну для бібліографічної ідентифікації: ідентифікатори звіту, відомості про виконавця роботи (юридичну або фізичну особу), повну назву, підписи, відповідальних осіб, рік і місяць закінчення роботи (див. наприклад рис. 2.2).

У «Списку авторів», який наводиться на наступній сторінці наводяться повні дані про учасників виконання НДР: ініціали та прізвище, посади, наукові ступені, вчені звання і розділи(підрозділи), який ним підготовлені.

Реферат, який розміщується після «Списку авторів» має містити: відомості про обсяг, кількість частин, розділів, ілюстрацій, стислий опис тексту звіту.

Перелік ключових слів повинен характеризувати зміст реферованого дослідження, він має включати від 5 до 15 ключових слів у називному відмінку, надрукованих в рядок, через коми.

У тексті реферату мають бути визначені: об'єкт і предмет дослідження, мета роботи, методи дослідження і необхідне обладнання, отримані результати і їх новизна, ступінь впровадження НДР, рекомендації по впровадженню роботи,

економічна і соціально-економічна ефективність виконаної роботи, область застосування і доцільність продовження досліджень.

Оптимальний обсяг тексту реферату від 1200 до 2000 знаків (одна сторінка аркушу формату А4).

У «Змісті» звіту наводяться всі перелічені вище структурні елементи з їх назвою та зазначенням номеру сторінки цього елемента.

У структурному елементі «Скорочення та умовні позначки» при наявності у звіті нестандартизованих термінів, символів, одиниць, скорочень.

Передмова, яка (при наявності) розміщується після попереднього елемента, пояснює якість, особливі аспекти виконаної роботи.

Вступ роботи має містити оцінку сучасного стану розв'язуваної науково-дослідницької проблеми, підстава та вихідні дані для розробки теми, обґрунтування необхідності виконання роботи, світові тенденції у розробці поставлених проблем. У вступі повинні бути показані актуальність і новизна теми, зв'язок даної роботи з іншими НДР, можливі сфери застосування.

Змістова частина звіту повинна включати: обґрунтування вибору прийнятого напрямку дослідження, методи розв'язання задач і їх порівняльна оцінка, розробка загальної методики проведення дослідження, аналіз і узагальнення існуючих результатів; характер і зміст теоретичних досліджень, методи досліджень, методи розрахунку, для експериментальних робіт – обґрунтування необхідності проведення експериментальних досліджень, при необхідності розроблення апаратури, з відповідними характеристиками, оцінювання похибок вимірювань і достовірності отриманих результатів (характеристик, параметрів), оцінка повноти вирішення поставленого завдання, відповідність виконаних досліджень програмі, їх порівняння з аналогічними результатами вітчизняних і зарубіжних праць.

Висновок має містити короткий опис отриманих результатів виконаної НДР або окремих її етапів, їх оцінка, пропозиції щодо їх використання, ступінь впровадження та можливі галузі та сфери впровадження результатів роботи, оцінку техніко-економічної ефективності впровадження. Для роботи, для якої

визначення техніко-економічного ефекту неможливо, має бути вказана господарська, наукова або соціальна цінність результатів роботи.

Рекомендації повинні мати конкретний характер і містити у собі :

- доцільність продовження досліджень з цієї тематики;
- обґрунтування підстав для проведення дослідно-конструкторських

для створення дослідного зразка (партії), технічного пристрою, що впливає з отриманих результатів дослідження.

Перелік джерел, на які є посилання у звіті наводяться у кінці звіту перед додатками у порядку, у якому вони вперше з'явилися у тексті і їх опис має відповідати ДСТУ ГОСТ 7.1-2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання.

З метою уникнення зайвої деталізації із основного тексту вилучають другорядні матеріали, які є необхідними для повноти звіту (уточнюють або доповнюють звіт), але мають великий обсяг і можуть ускладнити розуміння логіки роботи і формують із них «Додатки». В них рекомендовано включати: звіт про патентні дослідження, якщо вони проводилися при виконанні НДР, і перелік бібліографічних описів публікацій, патентів, якщо вони були опубліковані або отримані в результаті виконання НДР; проміжні математичні докази, формули і розрахунки; таблиці допоміжних цифрових даних; протоколи і акти випробувань; опис апаратури і приладів, які використовувались у процесі проведенні експериментів, вимірювань і випробувань; інструкції і методики, опис розроблених в процесі виконання НДР алгоритмів і програм завдань, що вирішувались на ЕОМ; ілюстрації допоміжного характеру; копію рішення вченої (науково-технічної) ради; акти про впровадження результатів досліджень, копію технічного завдання, висновок метрологічної експертизи.

3. Правила оформлення звіту науково-дослідної роботи

Звіт виконується у паперовому чи/та у електронному видах. Текст друкується шрифтом Times New Roman чорного кольору кеглем 14 на одному боці аркуша білого паперу формату А4 або А3 через 1,5- 2 міжрядкових

інтервалів. За машинного способу виконання звіту мінімальна висота шрифту 1,8 мм.

Допускається представляти таблиці і ілюстрації на аркушах формату не більше А2.

Текст роботи рекомендовано друкувати, додержуючись таких розмірів берегів: верхнє і нижнє – не менше 20 мм, праве – не менше 10 мм, лівє – не менше 25 мм.

Вписувати в текст звіту окремі слова, формули, умовні знаки дозволяється тільки чорними чорнилами або чорною тушшю чи пастою, при цьому щільність вписаного тексту повинна бути наближена до щільності основного тексту.

Помилки, описи та графічні неточності, виявлені в процесі виконання роботи, допускається виправляти підчищенням або зафарбуванням білою фарбою і нанесенням на тому ж місці виправленого тексту (графіків) машинописним способом, чорнилом або пастою, рукописним способом.

Всі власні назви: прізвища, назви установ організацій тощо мають наводитись у звіті мовою оригіналу.

У звіті з НДР слід використовувати скорочення слів і словосполучень згідно з ДСТУ 3582.

Текст основної частини роботи поділяють на розділи, підрозділи, пункти.

Розділи і підрозділи повинні мати заголовки, для пунктів і підпунктів ця вимога не обов'язкова.

Заголовки розділів друкують симетрично до тексту прописними буквами. Заголовки підрозділів друкують з абзацу (5 знаків) малими літерами (крім першої великої) напівжирним шрифтом без крапки в кінці. Перенесення слів в заголовках не допускаються. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень – їх розділяють крапкою. Відстань між заголовком та попереднім і подальшим текстом, приміткою, прикладом тощо має становити не менше 2 міжрядкових інтервалів.

Слова, надруковані на окремому рядку прописними буквами («СПИСОК ВИКОНАВЦІВ», «РЕФЕРАТ», «ЗМІСТ», «ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ,

СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ», «ВСТУП», «ВИСНОВКИ», «СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ»), повинні служити заголовками відповідних структурних частин звіту.

Підкреслювати заголовки не допускається, а кожен розділ слід починати з нової сторінки.

Нумерація. Сторінки роботи нумеруються наскрізь арабськими цифрами (включаючи додатки). Титульний аркуш включають до загальної нумерації роботи. На титульному аркуші номер не ставлять, на наступних сторінках номера проставляють у правому верхньому куті.

Розділи повинні мати порядкову нумерацію в межах всієї роботи і позначатися арабськими цифрами без крапки в кінці. Введення і висновки не нумеруються.

Підрозділи в межах кожного розділу нумеруються арабськими цифрами. Номер підрозділу складається з номера розділу і підрозділу, між якими ставлять крапку. В кінці номера підрозділу крапка не ставиться, наприклад: «1.2» (другий підрозділ першого розділу).

Пункти нумерують арабськими цифрами в межах кожного підрозділу. Номер пункту складається з номерів розділу, підрозділу, пункту, між якими ставлять крапку. В кінці номера крапка не ставиться, наприклад: «1.2.3» (третій пункт другого підрозділу першого розділу). Номера підпунктів нумеруються аналогічно.

Якщо робота складається з двох або більше частин (книг), то номер кожної частини (книги) проставляють римськими цифрами. Номер частини (книги) проставляють на титульному аркуші під назвою роботи.

Ілюстрації (таблиці, креслення, схеми, графіки), які розташовані на окремих сторінках звіту, включають до загальної нумерації сторінок, таблицю, рисунок або креслення, розміри якого перевищують формат А4, враховують як одну сторінку. Листи формату більш А4 розташовують в кінці звіту після укладення в порядку їх згадування в тексті.

Ілюстрації (крім таблиць) позначаються словом «Рисунок» і нумеруються послідовно арабськими цифрами в межах розділу. Рисунок подають у тексті відразу після першого посилання на нього або, принаймні, на наступній сторінці.

Номер ілюстрації (за винятком таблиць) може мати наскрізну нумерацію або складатися з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, між якими ставиться крапка. Наприклад: «Рис. 1.5 » (п'ятий рисунок першого розділу).

Номер ілюстрації поміщають нижче якої б пояснила підпису. Рисунки кожного додатку нумерують окремо. Їх номер складається з позначення додатку та його порядкового номера. Наприклад, «Рисунок А.2 (назва)» - тобто другий рисунок додатка А.

Назва рисунків має бути стислою, конкретною та відображати його текст, її друкують з великої літери і розміщують посередині рядка.

Примітки до тексту і таблиць друкують кеглем 12, в яких вказують довідкові і пояснювальні дані, нумерують послідовно арабськими цифрами. Якщо приміток кілька, то після слова «Примітки» ставлять двокрапку, наприклад: «Примітки: 1. ... 2. ...». Якщо є одна примітка, то її не нумерують і після слова «Примітка» ставлять крапку.

Ілюстрації. Якість ілюстрацій повинна забезпечувати їх чітке відтворення (електрографічне копіювання, мікрофільмування тощо). Рисунки мають бути виконані чорною тушшю, чорним чорнилом на білому непрозорому папері, відзняті за допомогою розмножувальної техніки або виконані із застосуванням комп'ютерної техніки (комп'ютер, сканер, ксерокс тощо).

Фотографії розміром менше А4 повинні бути наклеєні на стандартні аркуші білого паперу.

Ілюстрації повинні бути розташовані так, щоб їх було зручно розглядати без повороту звіту або з поворотом за годинниковою стрілкою.

Таблиці. Цифровий матеріал, як правило, має зводитись до таблиць (рис. 2.1) згідно вимог ДСТУ 1.5.

Кожна таблиця повинна мати назву. Слово «Таблиця» починають з великої літери. Заголовок не підкреслюють.

Таблиці нумерують наскрізно або послідовно арабськими цифрами (за винятком таблиць, поданих у додатках) в межах розділу. У верхньому кутку над першою частиною таблиці поміщають напис «Таблиця» із зазначенням номера таблиці. Номер таблиці повинен складатися з номера розділу і порядкового номера таблиці, між якими ставиться крапка, наприклад: «Таблиця 2.4» (четверта таблиця другого розділу). При перенесенні частини таблиці на другий аркуш (сторінку) слово «Таблиця» і номер її вказують один раз зліва над першою частиною таблиці; над іншими частинами пишуть слово «Продовження таблиці ...» із зазначенням номера, наприклад: «Продовження табл. 2.4» без повторення її назви таблицю подають безпосередньо після тексту, де вона згадується вперше або, принаймні, на наступній сторінці. Назва повинна бути стислою, конкретною і відображати зміст таблиці.



Рисунок 2.1. – Структура таблиці

Заголовки граф таблиць повинні починатися з великих літер, підзаголовки – з малої, якщо вони складають одне речення з заголовком, і з великих, якщо вони самостійні.

Ділити головки таблиці по діагоналі не допускається. Висота рядків повинна бути не менше 8 мм. Графу «№ пп.» в таблицю включати не рекомендовано.

Таблицю розміщують в тексті таким чином, щоб її можна було читати без повороту роботи або з поворотом за годинниковою стрілкою. Таблицю з великою кількістю рядків допускається переносити на інший аркуш. При перенесенні таблиці на інший аркуш (сторінку) заголовок поміщають тільки над її першою частиною. Таблицю з великою кількістю граф допускається ділити на частини і розміщувати одну частину над іншою, в межах однієї сторінки. Якщо рядки або графи таблиці виходять за формат сторінки, то в першому випадку в кожній частині таблиці повторюється її головок, у другому випадку – боковик.

Якщо повторюваний в графі таблиці текст складається з одного слова, його допускається замінити лапками; якщо з двох або більше слів, то при першому повторенні його замінюють словами «Те ж», а далі – лапками. Ставити лапки замість повторюваних цифр, марок, знаків, математичних і хімічних символів не допускається. Якщо цифрові або інші дані в якому-небудь рядку таблиці не проводять, то в ній ставлять прочерк.

Переліки (за потреби), які наводяться у тексті звіту, оформляються наступним чином: перед ним ставлять двокрапку, а перед кожним з переліків одного рівня підпорядкованості – знак «тире»; при складній ієрархії дозволено використовувати текстові редактори автоматичного створювання нумерації переліків.

Формули і рівняння подають симетрично по середині сторінки окремим рядком після їх згадування у тексті і відділено від тексту з обох боків не менше ніж на один рядок. Формули в роботі (якщо їх більше однієї) нумерують арабськими цифрами в межах розділу. Номер формули складається з номера і порядкового номера формули в розділі, між якими ставлять крапку. Номер вказують з правого боку аркуша на рівні формули в круглих дужках, наприклад: (5.7) (сьома формула п'ятого розділу).

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів слід проводити безпосередньо під формулою в тій же послідовності, в якій вони наведені у формулі. Значення кожного символу і числового коефіцієнта слід давати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають зі слова «де» без двокрапки.

Якщо рівняння не вміщується в один рядок, воно повинно бути перенесено після знаку рівності (=) або після знаків (+), (-), множення (*) і ділення (/), які вказують у кінці попереднього і початку наступного рядка.

Посилання в тексті на джерела інформації допускається наводити у виносках або вказувати порядковий номер за списком джерел, наприклад, «у роботах [13]-[17]»

При посиланні на ілюстрації вказують порядковим номером ілюстрації, наприклад, рис. 4.2 або табл. 5.4, або «відповідно 1.3-1.7»

Посилання на формули вказують порядковим номером формули в дужках, наприклад «... у формулі (2.1)». На всі таблиці, рисунки, формули повинні бути посилання в тексті, при цьому слово «Таблиця» в тексті пишуть повністю, якщо таблиця не має номера, і скорочено – якщо має номер, наприклад: «... в табл. 4.2 ». У повторних посиланнях на таблиці та ілюстрації слід вказувати скорочено слово «дивись», наприклад: «див. табл. 3.3 ».

Титульний лист є першим листом роботи і заповнюється формою, наведеною на рисунку 2.2 шрифтами різних розмірів і накреслень, які виконавець вважає за необхідне.

Поле 1 – найменування міністерства, науково-дослідної організації університету, інституту.

Поле 2 – в лівій частині поля – індекс УДК і номер державної реєстрації, який проставляються організацією-виконавцем та інвентарний номер роботи (проставляється організацією-замовником). Ці дані розміщуються одне під іншим.

The diagram shows a rectangular frame representing a title page form. It is divided into six numbered fields:

- Field 1:** A small rectangular box at the top center.
- Field 2:** A rectangular box on the left side, positioned below field 1.
- Field 3:** A rectangular box on the right side, positioned below field 1.
- Field 4:** A large central rectangular box.
- Field 5:** A rectangular box on the right side, positioned below field 3.
- Field 6:** A small rectangular box at the bottom center, positioned below field 4.

Рисунок 2.2. – Форма заповнення титульного аркуша

Поле 3 – розташовується гриф узгодження, що складається з слова «ПОГОДЖЕНО», найменування посади із найменуванням організації, наукового ступеня, вченого звання особи, яка погоджує роботу, його особистого підпису, її розшифрування, дати погодження і проставляється печатка організації, яка узгоджує роботу. Якщо погодження проведено листом – позначається скорочена назва організації, яка узгодила звіт, дату і вихідний номер листа. Підписи та дати, номери листів виконують чорнилами, тушшю або пастою чорного кольору. Дата наводиться арабськими цифрами і один рядок за однією з форм: 30 грудня 2020 року або 30.12.2020.

У правій частині поля поміщають гриф обмеження доступу до, що складається з слова «ЗАТВЕРДЖУЮ», найменування посади із зазначенням найменувань організації, наукового ступеня, вченого звання особи, яка

затвердила роботу, особистого підпису, її розшифрування і дати затвердження роботи. Тут же проставляється печатка організації, яка затвердила роботу.

У полі 4 друкують слово «ЗВІТ» великими літерами посередині рядка, вид (великими літерами), а нижче – назву (перша - велика, наступні – малі), шифр (за наявності) роботи, документ, на підставі якого виконана робота (програма, договір, контракт (тощо), вид звіту (проміжний чи остаточний – малими літерами у дужках по центру, номер тому і його назву при їх наявності).

Поле 5 – посади, вчені ступені, вчені звання керівників, консультантів. Праворуч від кожного підпису проставляють ініціали та прізвище особи, яка підписала роботу, нижче – дату підписання.

Поле 6 – місто і рік випуск роботи, наприклад, «Покровськ 2020», які розташовуються посередині на останній строчці титульного листа.

Якщо на титульному аркуші не розміщуються всі необхідні підписи, то допускається перенесення їх на наступну сторінку. У цьому разі на першій сторінці титульного листа на останньому рядку праворуч робиться запис «Продовження на звороті», а на наступних сторінках – «Продовження титульного листа». На цю ж сторінку переносяться і відомості з поля 6.

Список виконавців. У список мають бути включені всі виконавці і співвиконавці (автори роботи), які брали творчу участь у виконанні роботи. Їх слід розташовувати стовпцем, зліва вказують посади, вчені ступені, вчені звання.

Праворуч від підписів вказують (без дужок) ініціали та прізвища виконавців і співвиконавців. Біля кожного прізвища виконавця і співвиконавця слід в дужках вказати номер розділу (підрозділу) роботи виконаного етапу НДР та найменування організації-співвиконавця (при наявності).

Якщо робота виконана одним виконавцем, його прізвище і підпис поміщають на титульному аркуші. Посади, наукові ступені, вчені звання авторів можна скорочувати згідно ДСТУ 3582.

Перелік скорочень та умовних позначок розташовується стовпцем (ліворуч у абетковому порядку скорочення спочатку українською мовою, а потім іншими (за наявності), а праворуч – їх розшифрування.

Додатки позначаються послідовно великими літерами української абетки (крім літер Г, Є, З, І, Й, О, Ч, Ь), наприклад, ДОДАТОК В або літерами латинської абетки (крім літер I і O), наприклад, ДОДАТОК L.

У разі використання усіх літер української і/або латинської абетки дозволено позначати додатки арабськими цифрами, наприклад, ДОДАТОК 7.

Усі види ілюстрацій у тексті додатків треба нумерувати в межах кожного додатка, починаючи з літери, що позначає додаток, наприклад, рисунок С.3 – третій рисунок додатка С або таблиця К.4 – четверта таблиця додатка К.

Зміст включає найменування всіх розділів, підрозділів і пунктів (якщо вони мають найменування) із зазначенням номера сторінок, на яких розміщується початок матеріалів розділів (підрозділів, пунктів).

4. Вимоги до магістерської роботи.

Вимоги до магістерських робіт викладені у документі «ВИМОГИ до оформлення випускних кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет», затвердженими Наказом №142 від 21.03.2018 і розробленими у відповідності до ДСТУ 3008-2015 і «Вимог до оформлення дисертації», затверджених наказом Міністерства освіти і науки України 21.01.2017 № 40 (zareestrovano в Міністерстві юстиції України 03 лютого 2017 р. за № 155/30023)

В них визначено, що випускна кваліфікаційна робота магістра (далі – робота) готується державною мовою як академічна праця на правах рукопису у паперовому виді та в електронній формі. Згідно з цих вимог робота має друкуватися шрифтом Times New Roman, 14 через 1,5 міжрядкового інтервалу на одному або на двох (за бажанням здобувача) боках аркуша білого паперу формату А4 з полями таких розмірів: ліве – 25 мм, праве від 10 до 15 мм, верхнє і нижнє – 20 мм. Обсяг основного тексту роботи здобувача ступеня «магістр» має становити від 3 до 3,5 авторських аркушів (приблизно від 72 до 85 сторінок, що надруковані вищезазначеним способом).

Примітка: До загального обсягу не включаються таблиці та ілюстрації, які займають сторінку повністю.

Згідно цих вимог випускна кваліфікаційна робота має складатися з таких структурних елементів:

- титульний аркуш;
- завдання (друкується з двох боків аркуша);
- анотація, в якій коротко викладений основний зміст;
- зміст;
- перелік умовних позначень (за необхідності);
- основна частина;
- список використаних джерел;
- додатки.

Кожен з цих елементів, а також розділи основної частини та додатки мають починатися з нової сторінки.

Форма титульного аркуша роботи оформляється за формою № ДН-8.06.2 (Додаток А).

Бланк **завдання** оформляється за формою № ДН-8.05. (Додаток Б).

В **анотації** випускної кваліфікаційної роботи, яка викладена державною і англійською мовами мають бути:

• основні результати виконаного завдання на проектування/дослідження із зазначенням (за наявності) наукової новизни та практичного значення.

- прізвище та ініціали здобувача вищої освіти;
- назва випускної кваліфікаційної роботи;
- освітній ступінь;
- спеціальність (шифр і назва);
- спеціалізація (за наявності);
- найменування університету;
- місто, рік підготовчої до захисту роботи.

Зразок анотації (Додаток В).

Обсяг анотації має становити 1 сторінку.

- ключові слова від п'яти до п'ятнадцяти, які мають відповідати основному змісту роботи, відображати її тематику і забезпечувати тематичний пошук роботи, наводяться у називному відмінку і друкуються в рядок через кому.
- список публікацій здобувача вищої освіти за темою випускної кваліфікаційної роботи (за наявності).

Зміст повинен містити назви всіх структурних елементів, заголовки та підзаголовки (за їх наявності) із зазначенням нумерації та номери їх початкових сторінок.

Перелік умовних позначень, символів, одиниць вимірювання, скорочень подається (за необхідності) окремим списком. Додатково їхнє пояснення наводиться у тексті при першому вживанні.

Примітка: Скорочення, символи, позначення, які повторюються менше трьох разів до переліку не вносяться.

Основна частина роботи має складатися з:

- вступ;
- розділи випускної кваліфікаційної роботи;
- висновки.

У **вступі** мають наводитися наступні відомості:

- обґрунтування вибору теми, її актуальності;
- предмет і об'єкт дослідження;
- мета і завдання;
- методи дослідження з визначенням для яких саме вимірювань вони застосовувалися; їх обґрунтування у частині забезпечення достовірності отримуваних вимірів.

У разі використання наукових результатів, ідей і матеріалів інших авторів у тексті роботи має бути на них посилання.

Розділи, підрозділи, пункти і підпункти (при їх наявності) мають нумеруватися арабськими цифрами.

Формули, таблиці і рисунки нумеруються номером розділу і після крапки їх номер по порядку в тексті розділу. Нумерація формул наводиться з правого боку у дужках, а формула посередині рядка. Номер і назва рисунка наводиться знизу або з правого боку рисунка.

У **висновках** наводиться:

- основні отримані результати, їх новизна і (за наявності) практичне значення;
- впровадження результатів робіт (при наявності) або рекомендації щодо впровадження;
- апробація матеріалів роботи (при наявності) з вказанням вихідних даних (назва, дата, проведення, місце);

Список використаних джерел у роботі має оформлятися здобувачем згідно ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» і містити інформацію для однозначної ідентифікації вказаного джерелом. Список може наводитись одним із способів (за вибором здобувача):

- – у порядку появи посилань;
- – в алфавітному порядку прізвищ перших авторів або заголовків;
- – у хронологічному порядку.

У **додатках** наводяться допоміжні дані, проміжні формули та розрахунки, алгоритми і тексти комп'ютерних програм (при наявності), розрахунки економічного ефекту (при наявності) тощо.

9. Основні правила оформлення випускної кваліфікаційної роботи наступні:

Обсяг	<p>Обсяг основного тексту випускної кваліфікаційної роботи здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» 2—2,5 авторських аркуші, ОС «магістр» – 3 - 3,5 авторських аркуші.</p> <p>До загального обсягу випускної кваліфікаційної роботи не включаються таблиці та ілюстрації, які повністю займають площу сторінки.</p> <p>Один авторський аркуш дорівнює 40 тис. друкованих знаків, враховуючи цифри, розділові знаки, проміжки між словами, що становить близько 24 сторінок друкованого тексту при оформленні випускної кваліфікаційної роботи за допомогою комп'ютерної техніки з використанням текстового редактора Word (шрифт - Times New Roman, 14 pt).</p>
Інтервал	<p>Випускну кваліфікаційну роботу друкують на одному або на двох (за бажанням) боках аркуша білого паперу формату А4 (210x297 мм) через 1,5 міжрядкового інтервалу.</p>
Шрифт	<p>Шрифт - Times New Roman. Кегль – мітель (14 типографських пунктів).</p>
Поля	<p>Текст випускної кваліфікаційної роботи необхідно друкувати, залишаючи поля таких розмірів: ліве 25 мм, праве 10...15 мм, верхнє - 20 мм, нижнє - 20 мм.</p>

При оформленні структурних елементів випускної кваліфікаційної роботи (тексту, ілюстрацій, таблиць, формул, посилань та ін.), нумерації сторінок, оформленні змісту та додатків – дотримуватись вимог ДСТУ 3008:2015 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».

5. Оприлюднення результатів наукової роботи

Для оприлюднення результатів наукової роботи, зазвичай, необхідна рецензія або відгук.

Рецензія (Відгук про наукову роботу) – це робота, в якій критично оцінюють основні положення і результати дослідження, висновки і пропозиції, що зроблені у роботі. Особливу увагу звертають на її актуальність, теоретичне підґрунтя, доцільність і оригінальність прийнятих методів дослідження, новизну і достовірність отриманих результатів, їх практичну корисність.

При складанні рецензії рекомендується дотримуватися певної послідовності (Додаток Г)

Критика рецензента повинна бути принциповою, науково обґрунтованою, вимогливою, але разом з тим і доброзичливою, що сприяє покращенню якості дослідження.

Доповідь або повідомлення містять короткий виклад основних наукових положень автора, їх практичне значення, висновки і пропозиції. Час доповіді, зазвичай, становить від 10 до 20 хв, тому вона має бути лаконічною і чіткою. Необхідно акцентувати доповідь на основних отриманих результатах, не потрібно деталізувати окремі положення дослідження.

Не рекомендується доповідь (повідомлення) читати перед аудиторією, видрукований текст використовують лише для довідок, читання цитат. Емоційність, переконаність доповідача, його вміння полемізувати створює контакт з аудиторією, увагу слухачів, що забезпечує доброзичливе ставлення до доповідача та його роботи. Головним в науковій доповіді є зміст і наукова аргументація.

Виразність і дохідливість мови при викладі доповіді в великій мірі залежить від темпу, гучності та інтонації. Спокійна, некваплива манера викладу завжди імponує слухачам. Доповідачу необхідно стежити за правильністю літературної вимови, вживати слова відповідно до їх змістом.

Відповідати на питання слід коротко, по суті, проявляти скромність в оцінці своїх наукових результатів, витриманість і тактовність навіть в разі різких виступів опонентів. Самокритичність і шанобливе ставлення до конкретної критики – дозволяє усунути недоліки роботи, з'ясувати її перспективність, намітити шляхи розвитку роботи: вдосконалення методів і методик, робочої гіпотези, висновків або положень, які захищаються у роботі.

Для структурування доповіді доцільно скласти тези, в яких коротко (1-2 сторінки) викладають ідею, основу доповіді і необхідну аргументацію. Науковець повинен вміти виступати з короткою і чіткою доповіддю, вести наукову дискусію, переконливо аргументувати свої наукові положення.

Контрольні питання:

1. Які відомості має містити вступ звіту про НДР?
2. Які відомості має містити висновок звіту про НДР?
3. Як проводиться нумерація сторінок звіту про НДР?
4. Назвіть основні види ефективності наукових досліджень.
5. Що таке рецензія?
6. Чим характеризується рівень новизни прикладних досліджень?
7. Які є критерії визначення роботи науково-дослідного колективу?
8. Що таке монографія?
9. Назвіть види економічного ефекту від впровадження НДР.

ЛЕКЦІЯ 3

ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАУКУ ТА НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

План

1. Носії науково-технічної інформації.
2. Інформаційний пошук.
3. Способи запам'ятовування інформації.
4. Аналіз інформаційних джерел.

Література: [5, 6, 10, 15, 16, 19, 22, 25, 26, 28]

1. Носії науково-технічної інформації

Характерною рисою розвитку сучасної науки є бурхливий потік нових наукових даних, одержуваних в результаті досліджень. Щорічно в світі видається понад 500 тисяч книг з різних питань. Ще більше видається журналів. Але, незважаючи на це, величезна кількість науково-технічної інформації залишається неопублікованою.

Інформація має властивість «старіти». Це пояснюється появою нової друкованої та неопублікованої інформації або зниженням потреби в даній інформації. За зарубіжними даними інтенсивність падіння цінності інформації («старіння») орієнтовно становить 10% в день для газет, 10% в місяць для журналів і 10% в рік для книг.

Таким чином, відшукати нове, передове, наукове у вирішенні даної теми – складне завдання не тільки для одного науковця, але й для великого колективу.

Недостатнє використання світової інформації призводить до дублювання досліджень. Кількість повторно одержуваних даних досягає в різних областях науково-технічної творчості 60% і навіть 80%. А це втрати, які в США, наприклад, оцінюються багатьма мільярдами доларів щорічно.

Кожен крок на шляху прогресу науки досягається все великими труднощами, все більш дорогою ціною. За останні чотири десятиліття

збільшення в два-три рази кількості нових наукових даних супроводжувалося в світі восьми-, десятикратним зростанням обсягу друкованої та рукописної інформації, п'ятнадцяти-, двадцятикратним збільшенням чисельності наукових співробітників і більш ніж стократним зростанням асигнувань на науку і на освоєння її результатів.

Для прискорення відбору необхідної документації із загального обсягу і підвищення ефективності праці працівників в Україні створена загальнодержавна служба науково-технічної інформації (НТІ), включаючи в себе національний інститут НТІ, галузеві інформаційні центри та відділи НТІ (ОНТІ) в НДІ, конструкторських бюро, на підприємствах.

Носіями інформації можуть бути різні документи:

- книги (підручники, навчальні посібники, монографії);
- періодичні видання (журнали, бюлетені, праці інститутів, наукові збірники);
- нормативні документи (стандарти, СНП, ТУ, інструкції, тимчасові вказівки, нормативні таблиці та ін.);
- каталоги і преїскуранти;
- патентна документація (патенти, винаходи);
- звіти про науково-дослідних і дослідно-конструкторських роботах;
- інформаційні видання (збірники НТІ, аналітичні огляди, інформаційні листки, експрес-інформація, виставкові проспекти та ін.);
- перекази іноземної науково-технічної літератури;
- матеріали науково-технічних і виробничих нарад;
- дисертації, автореферати;
- виробничо-технічна документація (звіти, акти приймання робіт та ін.);
- вторинні документи (реферативні огляди, бібліографічні каталоги, реферативні журнали та ін.).

Ці документи створюють величезні інформаційні потоки, темпи яких щорічно зростають. Збір, зберігання і видачу інформації здійснюють довідково-інформаційні фонди (ДІФ). У країні є галузеві, республіканські і місцеві (в НДІ, ВНЗ, ОКБ і т.д.) ДІФ.

У СІФ встановлено певний порядок зберігання інформації. Є основний і довідковий фонди.

Основний фонд (книги, журнали, переклади, звіти та ін.) Розміщується на полицях в алфавітному порядку за видами інформації. Довідковий фонд – це вторинні інформаційні документи основного фонду. Він представлений в основному бібліографічними і реферативними картками (125×75), збереженими в каталожних висувних ящиках.

Довідковий фонд складається з головної картотеки (містить всі опубліковані і неопубліковані документи, що зберігаються в даному ДІФ), каталогів і карток.

За алфавітним каталогом можна відшукати будь-яку інформацію в даному ДІФ на прізвище автора, редактора або за назвою першоджерела.

За систематичним каталогом можна підбирати інформацію для різних галузей знань. Для прискорення відшукування потрібної інформації до каталогу додається ключ – предметний алфавітний покажчик.

У реєстраційній картці періодичних видань містяться відомості про журнали, збірники, бюлетені, збережених в даному ДІФ (за роками і номерам).

Патенти і авторські свідоцтва можна відшукати в картотеці описів винаходів.

Картотека стандартів містить різні нормативні документи – стандарти, норми, ТУ, тимчасові вказівки тощо.

Пошук потрібної інформації з кожним роком ускладнюється. Тому всі науковці повинні знати основні положення, пов'язані з інформаційним пошуком.

Ідентифікатор ORCID, Web of Science (ResearcherID), Scopus - це системи персональної ідентифікації автора.

Ідентифікатор вирішує одну з найважливіших проблем оцінки та управління наукою - це надійний зв'язок між автором та його роботами. Формальні показники все частіше використовуються у всьому світі. Ідентифікатори дозволяють встановити однозначну відповідність між автором та його результатами та діяльністю, яку неможливо визначити по ПІБ через проблеми з однаковим прізвищем, зміну прізвища, неповністю вказані ПІБ в публікаціях, різні транслітерації тощо.

Досі немає єдиної глобальної бази даних публікацій, тому існує декілька ідентифікаторів: ORCID ID, Web of Science (ResearcherID), Scopus AuthorID.

Scopus - це абстрактна і бібліографічна база даних та інструмент для відстеження цитат статей, опублікованих у наукових журналах. У базі даних індексуються наукові та професійні журнали, матеріали конференцій та серійні публікації. Браузер інтегрований з браузером Scirus для пошуку веб-сторінок та баз даних патентів. Дозволяє додавати публікації вручну.

The screenshot displays the Scopus Author Profile for Tetiana Nehrii. The profile includes the following information:

- Author Name:** Nehrii, Tetiana
- Affiliation:** Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
- ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-3195-8401>
- Actions:** Редактировать профиль, Настроить оповещение, Потенциальные соответствия авторов, Экспортировать в ScVal

Обзор показателей (Summary Metrics):

- Документы автора: 4
- Цитирования по 4 докум.: 6
- h-индекс: 2

Документ и тенденции цитирования (Document and Citation Trends):

Year	Документы (Documents)	Цитирования (Citations)
2018	2	1
2019	1	2
2020	1	1

Темы с наибольшим вкладом 2015–2019 (Topics with highest contribution 2015–2019):

- Caving; Coal Seam; Soft Rock (1 документ)
- Longwall Mining; Caving; Coal Seam (1 документ)
- Rock Pressure; Roadway Supports; Coal Deposits (1 документ)

Additional statistics at the bottom: 4 документов, Цитирования в 4 документах, 0 Препринты, Совавторов: 7, Темы.

Web of Science (ResearcherID) вирішує проблему ідентифікації авторів, оскільки це єдиний міжнародний ідентифікатор вчених. ResearcherID - унікальний код, який присвоюється автору наукових публікацій для унікальної ідентифікації його робіт. Система ResearcherID інтегрована з індексом наукового цитування Web of Science.

The screenshot shows a web browser window displaying the Publons profile of Tetiana O Nehrii. The browser's address bar shows the URL: publons.com/researcher/1785871/tetiana-o-nehrii/. The page header includes the Publons logo and navigation links: BROWSE, COMMUNITY, FAQ, LOG IN, REGISTER, and WEB OF SCIENCE. The profile header shows the name 'Tetiana O Nehrii' with a circular logo containing 'TN', the name 'Negrey Tatiana', and the Web of Science ResearcherID 'D-1797-2019'. Below the name, it states 'Postdoctoral Fellow - Donetsk National Technical University'. A table displays the following statistics:

PUBLICATIONS	TOTAL TIMES CITED	H-INDEX
5	-	-

On the left side, there are navigation tabs: Summary, Metrics, and Publications. The 'Research Fields' section is currently empty, with the text: 'Tetiana O Nehrii has not yet added any research fields to their profile.' The Windows taskbar at the bottom shows the date as 31.01.2021 and the time as 15:59.

Ідентифікатори відображають результати наукової діяльності вчених в Інтернеті, забезпечують можливість пошуку інформації про потенційну співпрацю, можливість швидкого отримання інформації про публікації та інші результати досліджень для заявок на гранти, біографії тощо.

Згадування персональних ідентифікаторів є однією з умов участі в грантах, конференціях, публікації в деяких журналах.

Щоб подати заявку на ряд грантів просто потрібно надати посвідчення особи, а не список публікацій.

Тому необхідна якнайширша реєстрація авторів та дослідників у всіх цих системах. І регулярний моніторинг та коригування профілів за потребою автора.

The screenshot shows the ORCID website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'ABOUT', 'FOR RESEARCHERS', 'MEMBERSHIP', 'DOCUMENTATION', 'RESOURCES', and 'NEWS & EVENTS'. The main content area displays the profile of Tetiana Herpий, including her ORCID ID and a list of works. The first work is 'Problems of mining the prospective coal-bearing areas in Donbas' from the E3S Web of Conferences, 2019. The second work is 'Physical simulation of integrated protective structures' from the E3S Web of Conferences, 2018. The profile also displays the ORCID ID and other identifiers like ResearcherID and Scopus Author ID.

Для того, щоб збільшити повноту подання інформації про наукові публікації, всі автори повинні зареєструватися (або підтвердити свою реєстрацію) у базах даних Web of Science (та отримати ResearchID), ORCID. Після реєстрації ви повинні додати свою роботу до цих систем.

2. Інформаційний пошук

Інформаційний пошук – це цілеспрямована діяльність науковця, яка спрямована на знаходження інформаційних документів, які необхідні для розробки наукової теми. Пошук може бути ручний (здійснюється за звичайними бібліографічними картками, картотеками, друкованим вказівниками), механічний (носієм інформації є перфокарти), механізований (заснований на застосуванні лічильно-перфораційних машин) і автоматизований (застосування ЕОМ).

Інформаційний пошук здійснюється за допомогою інформаційно-пошукової мови (ІПМ) – системи символів і правил їх поєднання.

В даний час найширше впровадження отримала універсальна десятинна класифікація документів інформації (УДК).

УДК поділяє всі галузі знань на десять відділів, кожен з яких, в свою чергу, поділяється на десять підрозділів, а підрозділ – на десять частин. Кожна із частин може деталізуватися далі аж до потрібного ступеню.

У пошуку можуть надати допомогу спеціально створені заклади: Український науково-дослідний інституту НТІ, регіональні та обласні центри НТІ. Залежно від забезпечення наукової організації систематичний пошук виконується самостійно (ручний спосіб, за допомогою карток, перфокарт) або механізовано-автоматизовано самостійно, або з допомогою фахівців НТІ. Для прискорення розробки теми та підвищення її якості дослідник має вивчити усі доступні інформаційні джерела з розроблюваної теми, бажано в оригіналі. Знайомство з іноземною інформацією дозволить виключити дублювання і подвійний рівень дослідження.

Літературний аналіз іноземної інформації інших авторів не може бути корисним для дослідника, але акцентує увагу на матеріалах і висновках, які стосуються і співзвучні з його темою дослідження. Без особистого ознайомлення з оригіналом можна прийти до хибних висновків. Крім інформації, що безпосередньо стосується теми, бажано опрацювати базові джерела.

Дуже важливо для дослідника володіти знаннями з базових дисциплін, близьких до теми, аналіз яких може бути корисний при розробці окремих питань теми. Наприклад, при розробці способів охорони гірничих виробок необхідно володіти питаннями фізики (фізика твердого тіла, дифузія рідини, газів і парів тощо), прикладної механіки (аналіз навантажень, напруги, деформацій) і ін. Для повноти картини інформаційного матеріалу необхідно ознайомитися з тематикою наукових досліджень, які проводяться у ВУЗах і галузевих НДІ України і бажано за кордоном.

На цій стадії виконання науково – дослідної роботи можуть бути корисні відрядження в проектні установи, великі передові підприємства, які працюють у галузі, яка пов'язана або сумісна з темою дослідження. Це

дозволить ознайомитись з досвідом вирішення досліджуваної теми в цих організаціях, виявити «вузькі місця» і сторони теми на які слід звернути особливу увагу та які питання представляють першочерговий практичний інтерес. Бажано в результаті обговорення у виробничому колективі визначитися з актуальністю, доцільністю, шляхами вирішення наукового дослідження. Праведні фахівці також можуть надати істотну допомогу в формуванні теми і визначенні обсягу інформації, що збирається.

Науковець, розроблюючи тему, накопичує великий обсяг опрацьованих джерел інформації. В залежно від теми та її наукової значущості обсяг інформаційних джерел може складати 100-200 найменувань. Для ефективного аналізу цієї інформації науковець має володіти методами обліку та аналізу носіїв інформації.

Облік проробленої інформації зводиться до складання бібліографії. Бібліографія – це перелік різних інформаційних джерел із зазначенням наступних даних: прізвище та ініціали автора, назва джерела, місце видання, видавництво, рік видання, обсяг джерела в сторінках. Бібліографічний список складають в алфавітному порядку за прізвищами авторів (для прискорення пошуку потрібної інформації), а у звіті з науково – дослідної роботи за їх порядком у звіті.

Опрацювання інформації зводиться до її нотування, вивчення і запам'ятовування. Головною умовою ефективного опрацювання інформаційного джерела є чітке визначення мети дослідження. Це активізує мислення, покращує пам'ять, допомагає зрозуміти читане, робить сприйняття точнішим. Цей психологічний фактор потребує від працівника створення певного настрою для осмислення читаного. Увага, зосередженість над текстом багато в чому визначають якість опрацювання інформації. У процесі роботи над опрацюванням джерел інформації на дослідника можуть діяти різні відволікаючі фактори – музика, шум, розмови, власні думки та ін. Вони незалежно від волі людини діють на центральну нервову систему, погіршують умови мислення. При певному рівні шуму наша увага відволікається, швидше

настає стомлення, і якість засвоєння інформації знижується. Тому, щоб підвищити працездатність розумової праці, перешкоди мають бути усунені. Деякі дослідники вважають, що шум, музика їм не заважають. Це не зовсім так тому хоча перешкоди можуть і не помічатися свідомістю, їх фіксує нервова система, що створює додаткову психо-емоційне навантаження. Але треба зазначати, що при роботі в повній ізоляції перешкодою можуть бути сторонні думки, що також створює додаткове психо - емоційне навантаження.

Самостійність праці – важливий фактор роботи над інформацією. Кожна сторінка повинна бути неквапливо проаналізована, обдумана стосовно поставленої мети. Тільки вдумливий, самостійний аналіз прочитаного дозволить переконатися в своїх судженнях, закріпити думку, поняття, уявлення.

Дуже важливим фактором при опрацюванні літератури є наполегливість і систематичність. Часто, особливо при читанні складного нового тексту, чітко осмислити його з першого разу неможливо, доводиться читати і перечитувати, домагаючись повного розуміння викладеного. Послідовне, систематичне прочитання покращує засвоєння матеріала. Відволікання зриває логічно-налаштовану думку, призводить до стомлення.

Продуктивність опрацювання інформації істотно залежить від розумової працездатності. Остання – від уміння правильно розподілити свою роботу в часі. Після 1-2 годин роботи рекомендується робити перерви на 5-7 хвилин, фізичні вправи, обтирання тіла і обличчя водою або посилене глибоке дихання. Все це стимулює центральну нервову систему і підвищує працездатність. Іноді при читанні корисно відключитися на 2-3 хвилини.

3. Способи запам'ятовування інформації

Опрацьовуючи текст, необхідно намагатися, щоб кожне місце джерела, що стосується розроблюваної теми, стало зрозумілим. В окремих випадках потрібно не тільки зрозуміти, а й запам'ятати текст на той чи інший час. Кожен науковець має володіти мистецтвом запам'ятовування. Існують різні способи запам'ятовування.

Механічний спосіб – заснований на багаторазовому повторенні і заучуванні прочитаного. При такому запам'ятовуванні («зазубрювання») відсутній логічний зв'язок між окремими елементами. Цей спосіб найменш ефективний, він застосовується для обмежених випадків – запам'ятовування дат, формул, цитат, іноземних слів і ін. Встановлено, що тренування пам'яті численними повтореннями малоефективне. Пам'ять повинна базуватися не на формальному сприйнятті, а на активній розумовій діяльності стосовно інформації, що проробляється. Запам'ятати – значить мислити.

Логічно-смісловий спосіб заснований на запам'ятовуванні логічних зв'язків між окремими елементами. При читанні необхідно намагатися зрозуміти не окремі елементи, а весь текст в цілому, його сенс, спрямованість, значення. Часто достатньо прочитати текст один раз, щоб запам'ятати. Однак і при цьому особливу увагу необхідно приділяти логічним зв'язкам. Логічно - смісловий спосіб запам'ятовування більш ефективно ніж механічного.

Довільний спосіб запам'ятовування заснований на застосуванні різних мнемонічних прийомів. Найбільш поширений вибірково мнемонічний прийом. Перед опрацюванням інформації задаються метою – запам'ятати лише конкретний матеріал (в залежності від мети, якої намагаються досягти), наприклад, механічні властивості масиву гірських порід. Така спрямованість, установка спрощує запам'ятовування матеріалу, що цікавить дослідника.

Іншим мнемонічним прийомом є тимчасова спрямованість. Так, студент силою волі змушує себе запам'ятати більше матеріалу на короткий термін з метою здати іспит. Зазвичай такий матеріал зберігається в пам'яті короткий термін. Науковець повинен запам'ятати матеріал як мінімум на весь період наукового дослідження.

Мимовільний спосіб заснований на випадковому запам'ятовуванні (без намірів, установки) окремих фрагментів тексту, обумовленому емоціями, що виникли в процесі читання. Текст зберігається в пам'яті певний час. Поступово він починає забуватися.

Спочатку після сприйняття інформації процес забування відбувається найбільш швидко, з часом темп його сповільнюється. Так, при короткочасному запам'ятовуванні в середньому через один день втрачається близько 20-25% завченого, через п'ять днів – близько 35% і через десять днів – 40%.

Повторення – один з ефективних способів запам'ятовування. Повторення буває пасивним (перечитується кілька разів) і активним (перечитується з переказом). Другий спосіб більш ефективний, в ньому поєднується заучування і самоконтроль.

Щоб краще запам'ятати, потрібно правильно вибрати час для повторення. З огляду на характер забування, матеріал краще повторити в день читання або ж на наступний день, а потім повторювати тільки періодично і лише те, що забувається і становить найбільший інтерес. Невеликий за обсягом текст краще повторити повністю. Великі тексти спочатку освоюють в цілому, потім повторюють особливо важкі фрагменти.

Невід'ємною вимогою пророблення НТІ є запис прочитаного. Він дозволяє краще зрозуміти і засвоїти матеріал; подовжити процес сприйняття інформації, отже, краще запам'ятати, відновити в пам'яті забуте; розвинути мислення, проаналізувати текст; відібрати найбільш важливі фрагменти інформації для розроблюваної теми.

Однак, запис вимагає додаткового часу. Дуже короткий запис збіднює опрацьовану інформацію, навпаки, зайва подробиця в запису означає не тільки витрату часу, але і невміння зрозуміти і відобразити головне.

Для опрацьовування НТІ застосовуються виписки, анотації, конспекти.

Виписки – короткий (або повний) зміст окремих фрагментів (розділів, глав, параграфів, сторінок) інформації. Цінність виписок дуже висока. Вони можуть замінити суцільне конспектування тексту; стислість їх дозволяє в малому обсязі викласти великий обсяг інформації. Вдало виконана виписка може бути основою для подальшої розумової, творчої діяльності науковця.

Анотація – це стислий зміст першоджерела.

Анотації складають на даний документ інформації в цілому. Їх зручно накопичувати на окремих картах з різних питань теми, що проробляється. За допомогою анотацій можна швидко відновити в пам'яті текст.

Конспекти – це скорочений, але докладний виклад змісту інформації.

Головне при складанні конспекту – це вміти виділити раціональне зерно стосовно розроблюваної теми. Конспект має бути змістовним, повним, і по можливості коротким. Повнота запису означає не обсяг, а все те, що є найбільше цікавим у даному інформаційному носії.

Для того, щоб конспект був коротким, необхідно текст складати осмислено, аналізуючи прочитане, що внаслідок приносить велику користь. При цьому слід застосовувати скорочення слів, але так, щоб не втратити сенс джерела. Не рекомендується, наприклад, скорочувати кілька слів поспіль. В скороченому тексті рекомендується зберегти всі знаки пунктуації. Для виділення головних думок потрібно застосовувати підкреслення суцільною або пунктирною лінією, виділяти іншими способами, наприклад маркером (фломастером). Іноді конспект необхідно доповнити новим матеріалом, своїми пропозиціями, аналізом, і т.д. По тексту ставлять номери, якими відзначають відповідні доповнення на полях або зворотній (чистій) сторінці аркуша.

4. Аналіз інформаційних джерел

Аналіз інформації, що проробляється – одна з найважливіших задач. Перед цим всю отриману інформацію необхідно класифікувати і систематизувати. Джерела можна систематизувати у хронологічному порядку або за тематикою аналізованих питань, при цьому ретельно вивчають роль теорії етичного обґрунтування експерименту і оцінюють виробничі рекомендації або результати їх втілення.

На кожному етапі літературні джерела потрібно піддати ретельному критичному аналізу. При такому критичному аналізі різні ідеї, факти, теорії зіставляють між собою, знаходячи загальні риси та протиріччя.

Робота над вивченням НТІ закінчується складанням звіту проробленої НТІ, з якого повинні органічно витікати актуальність, мета і завдання науково-дослідної роботи. Для його складання існують різні способи:

1) підібрана інформація по даній темі опрацьовується послідовно. Спочатку складають конспект на кожну інформацію, а потім все об'єднують в один оглядовий документ. Хоча цей спосіб найбільш поширений, дозволяє якісно досягти поставленої мети, проте він не досить ефективний, так як вимагає великої затрати часу;

2) вибірковий. Підібрану для опрацювання інформацію розташовують в ряд за ступенем повноти, актуальності, новизни, що потребує певної кваліфікації науковця у питанні, що вивчається. Спочатку опрацьовується найповніша сучасна інформація з високим науковим рівнем. За допомогою змісту складають план огляду наукових джерел інформації. Далі приступають до більш поверхневого опрацювання менш важливої другорядної інформації, доповнюючи нею інформацію основних джерел. Бувають випадки, коли в процесі опрацювання джерел інформації і виконання НДР роботи, які спочатку вважалися другорядними, можуть зайняти місце або навіть замінити ті, що на початку здавалися головними. Тому перший етап цього способу потребує особливої уваги і дуже ефективний у разі наявності досліджень теми.

3) Складають дерево проаналізованих джерел, починаючи із найновіших, які опрацьовуються в першу чергу, потім опрацьовуються джерела, на які є посилання у цій роботі і т.д., аж до того моменту поки питання не буде остаточно з'ясоване. Для впевненості у достатності проведення цієї роботи можуть бути додатково переглянуті останні роботи науковців, чії роботи вже були розглянуті.

В процесі активного аналізу джерел інформації виникають власні міркування і думки, виявляються найбільш актуальні питання, що підлягають дослідженню в першу і другу чергу, формуються уявлення. Все це поступово формує фундамент майбутньої гіпотези наукового дослідження.

Навпаки, коли в процесі аналітичного огляду науковець лише перераховує авторів і призводить анотації їх робіт, не висловлюючи при цьому своєї думки. Такий пасивний, формальний огляд інформації зменшує якість цього стану.

Керівною ідеєю всього аналізу інформації повинно бути обґрунтування актуальності і перспективності передбачуваної мети наукового дослідження і її завдань.

За результатами опрацювання інформації роблять методологічні висновки, в яких підводять підсумок критичного аналізу.

У висновках мають бути висвітлені наступні питання: актуальність і новизна теми; останні теоретичні і експериментальні дослідження по досліджуваній темі, найважливіші найбільш актуальні теоретичні і експериментальні завдання, а також можливість виробничих рекомендацій по темі, що підлягають розробці; технічна доцільність і економічна ефективність цих розробок.

На основі зазначених висновків формуються в загальному вигляді мета і конкретні завдання наукового дослідження. Зазвичай кількість завдань, які підлягають дослідженню по темі одним науковцем коливається від 3 до 8. При цьому важлива роль належить науковому керівнику. Він обмежує і спрямовує пошук, допомагає розібратися (особливо початківцю-науковцю) у величезному потоці інформації, відкинути другорядні джерела.

Контрольні питання:

1. Назвіть носії наукової інформації.
2. Що таке інформаційний пошук?
3. У чому відмінність анотації від конспекту?
4. Що таке бібліографія?
5. Що таке УДК?
6. Назвіть найважливіші фактори ефективності опрацювання інформаційних джерел.

7. Які існують способи складання звіту опрацьованих інформаційних джерел?
8. Які питання мають бути висвітлені у висновках звіту опрацьованих інформаційних джерел?
9. Назвіть способи запам'ятовування інформації.

ЛЕКЦІЯ 4

ТЕМА 2. МЕТОДИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

План

1. Наукове дослідження: визначення, мета.
2. Способи та методи наукових досліджень.
3. Класифікація і методологія експериментальних досліджень.
4. Загальні вимоги до планування та стратегії експерименту.
5. Планування та проведення багатofакторного експерименту.

Література: [5, 6, 10 15, 16, 19 22, 25, 26, 28]

1. Наукове дослідження: визначення, мета

Формою здійснення і розвитку науки є наукове дослідження, тобто вивчення за допомогою наукових методів явищ і процесів, аналіз впливу на них різних факторів, а також вивчення взаємодії між явищами з метою отримати переконливо доведені і корисні для науки і практики вирішення з максимальним ефектом.

Наукове дослідження – процес дослідження певного об'єкта (предмета або явища) за допомогою наукових методів, що має на меті встановлення закономірностей його виникнення, розвитку і перетворення в інтересах раціонального використання у практичній діяльності людей. Основою розробки кожного наукового дослідження є методологія, тобто сукупність методів, способів, прийомів і їх певна послідовність, прийнята при розробці наукового дослідження. У методології наукових досліджень розрізняють поняття «об'єкт» і «предмет» пізнання.

Об'єктом пізнання прийнято називати те, на що спрямована пізнавальна діяльність дослідника. Об'єктом наукового дослідження є навколишній матеріальний світ та форми його відображення у свідомості людей, які існують незалежно від нашої свідомості, відбираються відповідно до мети дослідження.

Досліджувати можна не тільки емпіричний об'єкт (наприклад, якісні характеристики), а й теоретичний (наприклад, дія законів).

Предмет дослідження – це властивість, характеристика об'єкта дослідження. *Предмет* конкретизує певний бік *об'єкту*, тобто його частину.

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

Питання методології досить складне, оскільки саме це поняття тлумачиться по-різному. Багато зарубіжних наукових шкіл не розмежовують методологію і методи дослідження. У вітчизняній науковій традиції методологію розглядають як учення про науковий метод пізнання або як систему наукових принципів, на основі яких базується дослідження і здійснюється вибір сукупності пізнавальних засобів, методів, прийомів дослідження.

Найчастіше методологію тлумачать як теорію методів дослідження, створення концепцій, як систему знань про теорію науки або систему методів дослідження. Методику розуміють як сукупність прийомів дослідження, включаючи техніку і різноманітні операції з фактичним матеріалом.

Методологія виконує такі функції:

- визначає способи здобуття наукових знань, які відображають динамічні процеси та явища;
- направляє, передбачає особливий шлях, на якому досягається певна науково-дослідницька мета;
- забезпечує всебічність отримання інформації щодо процесу чи явища, що вивчається;
- допомагає введенню нової інформації до фонду теорії науки;
- забезпечує уточнення, збагачення, систематизацію термінів і понять у науці;
- створює систему наукової інформації, яка базується на об'єктивних фактах, і логіко-аналітичний інструмент наукового пізнання.

Ці ознаки поняття «методологія», що визначають її функції в науці, дають змогу зробити такий висновок: *методологія* – це концептуальний виклад мети,

змісту, методів дослідження, які забезпечують отримання максимально об'єктивної, точної, систематизованої інформації про процеси та явища. Методологічна основа дослідження, як правило, не є самостійним розділом наукової праці, однак від її чіткого визначення значною мірою залежить досягнення мети і завдань наукового дослідження кваліфікаційної роботи. Розрізняють фундаментальні, загальнонаукові принципи, що становлять власне методологію, конкретно-наукові принципи, що лежать в основі теорії тієї чи іншої дисципліни або наукової галузі, і систему конкретних методів і технік, що застосовуються для вирішення спеціальних дослідницьких завдань.

Філософська, або фундаментальна, методологія є вищим рівнем методології науки, що визначає загальну стратегію принципів пізнання особливостей явищ, процесів, сфер діяльності. Розвиток методології – одна зі сторін розвитку пізнання в цілому. Спочатку методологія ґрунтувалася на знаннях, які диктувала геометрія як наука, де містилися нормативні вказівки для вивчення реального світу. Потім методологія виступала як комплекс правил для вивчення всесвіту і перейшла у сферу філософії. Платон і Аристотель розглядали методологію як логічну універсальну систему, засіб істинного пізнання. Тривалий час проблеми методології не посідали належного місця в науці через механістичність або релігійність тих чи інших поглядів на світ. Зразком пізнання були принципи механіки, розроблені Г. Галілеєм і Ф. Декартом. Емпіризм протягом багатьох століть виступав вихідною позицією при розгляді всіх проблем. Філософи І. Кант і Г.В.Ф. Гегель дали новий поштовх розвитку методології, спробували розглянути закономірності в самому мисленні: сходження від конкретного до абстрактного, суперечності розвитку буття і мислення та ін.

Характерною рисою наукового дослідження, яка вирізняє його від інших видів дослідження, є використання наукових методів. Метод (від гр. *methodos* – дослідження) – це сукупність правил і норм, які регламентують і регулюють діяльність дослідника в процесі дослідження явищ, який визначає підхід до

явища, планомірний шлях наукового пізнання і встановлення істини, тобто проведення наукового дослідження.

В своїй основі метод – це інструмент для розв'язку основної задачі науки – пізнання об'єктивних законів дійсності з метою використання їх в практиці людини. Метод визначає необхідність і місце застосування наукових прийомів і способів дослідження, експериментальної перевірки результатів дослідження.

Метод поєднує об'єктивні і суб'єктивні моменти пізнання. Метод об'єктивний, так як в теоретичному ідеальному плані дозволяє відбивати об'єкти дійсності і їх взаємозв'язки, в цьому випадку метод є програмою побудови і практичного застосування теорії. Метод суб'єктивний так як він є знаряддям мислення дослідника і тому утримує в собі суб'єктивний момент.

Визначальною рисою наукового методу є вимога об'єктивності, що виключає суб'єктивне тлумачення результатів, та можливості верифікації отриманих результатів. Не повинні прийматися на віру будь-які твердження, навіть якщо вони виходять від авторитетних вчених.

Мета наукового дослідження – визначення конкретного об'єкта і всебічне, достовірне вивчення його структури, характеристик, зв'язків на основі розроблених в науці принципів і методів пізнання, а також отримання корисних для діяльності людини результатів, впровадження у виробництво з подальшим ефектом.

2. Способи та методи наукових досліджень

Розрізняють такі методи пізнання: загальнонаукові і конкретно-наукові.

Загальнонаукові методи використовуються в теоретичних і емпіричних дослідженнях (рис. 4.1). Вони включають аналіз і синтез, індукцію і дедукцію, аналогію і моделювання, абстрагування і конкретизацію, системний аналіз, формалізацію, гіпотетичний і аксіоматичний методи, створення теорії, спостереження і експеримент. Аналіз – метод дослідження, який включає в себе вивчення предмета або явища шляхом мисленого або практичного розчленування (розкладання) його на частини з метою вивчення. Кожна з виділених частин аналізується окремо в межах єдиного цілого.

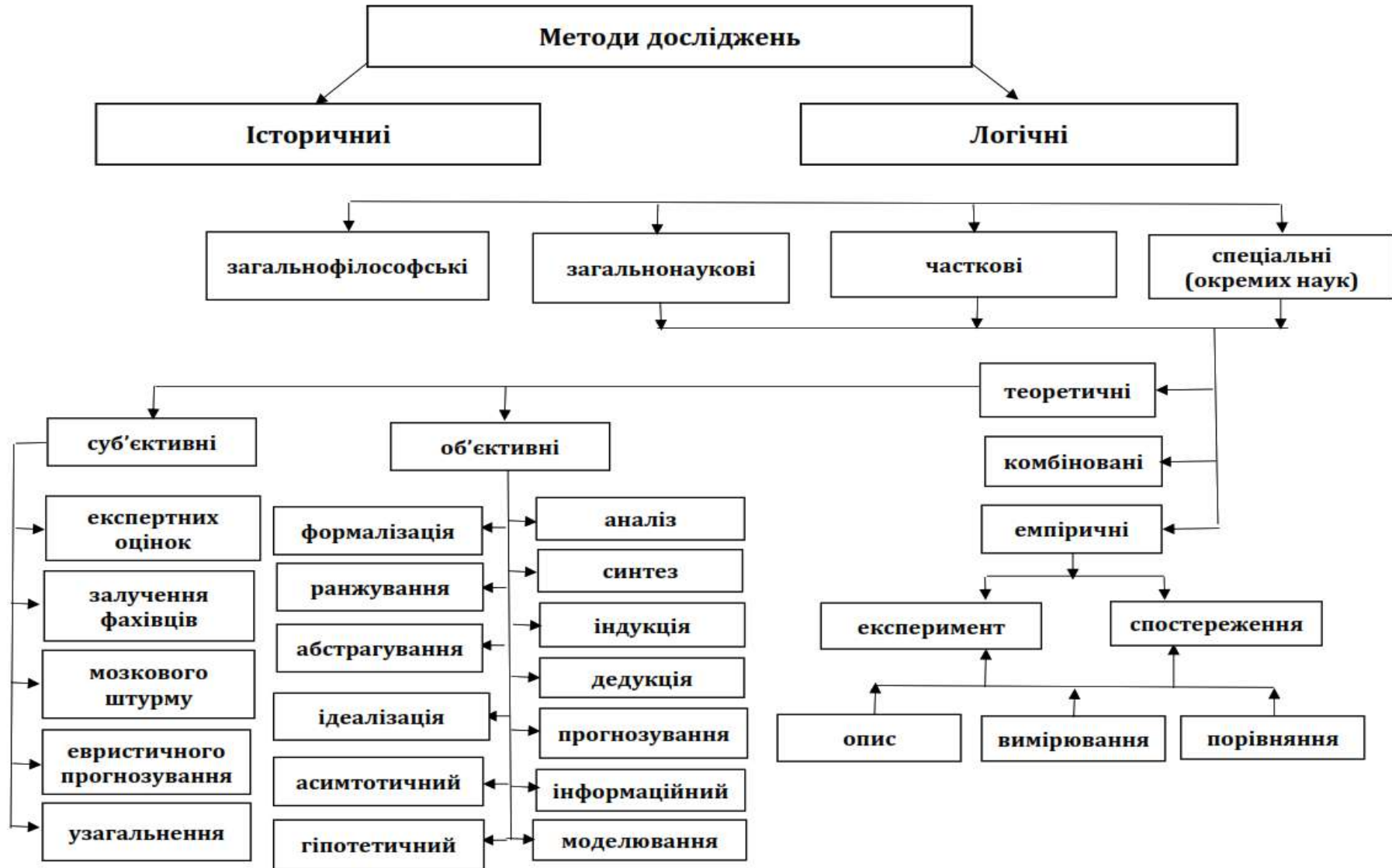


Рисунок 4.1. – Загальна схема класифікації методів логічних досліджень

Синтез (від гр. *synthesis* – об'єднання, сполучення, складання) – це метод вивчення об'єкта в його цілісності, в єдності і у взаємному зв'язку його частин. В процесі наукових досліджень синтез пов'язаний з аналізом.

Наукові дослідження прийнято поділяти на **фундаментальні** та **прикладні**.

Прикладні дослідження спрямовані на створення нових методів, на основі яких розробляють нове обладнання, нові машини і матеріали, способи виробництва і організації робіт та ін. Вони повинні задовольняти потребу суспільства в розвитку конкретної галузі виробництва і не вимагають проведення нових наукових досліджень.

Мета розробок, що проводяться в дослідно-конструкторських бюро (ДКБ), проектних, дослідних виробництвах – перетворити прикладні (або теоретичні) дослідження в технічні прилади, прилади, технології, підготувати матеріал для впровадження у виробництво.

Мета перших – отримання нових знань незалежно від перспектив їх застосування. Мета других – одержання і використання знань для практичних цілей. При вирішенні фундаментальних наукових проблем застосовуються теоретичні та емпіричні методи досліджень.

Теоретичні методи спрямовані на вивчення і виявлення зв'язків, залежностей, що дозволяють встановити поведінку об'єкта, визначити і вивчити його структуру, характеристику на основі розроблених в науці принципів і методів пізнання. В результаті отриманих знань формулюються закони, розробляється теорія, перевіряються факти тощо.

Теоретичні дослідження спрямовані на створення нових принципів. Це зазвичай фундаментальні дослідження. Мета їх – розширити знання та мислення суспільства і допомогти більш глибоко зрозуміти закони природи. Такі розробки використовують в основному для подальшого розвитку нових теоретичних досліджень

Теоретичні завдання формулюються таким чином, щоб їх можна було перевірити емпірично.

При вирішенні емпіричних і теоретичних завдань в наукових дослідженнях важливу роль відіграє логічний метод пізнання, що дозволяє на основі аналітичних трактувань пояснювати явища і процеси, висувати різні припущення, ідеї, гіпотези та визначати шляхи їх перевірки. Цей метод базується на результатах емпіричних досліджень.

Результати наукових досліджень оцінюють тим вище, чим вище наукове значення зроблених висновків і узагальнень, чим вони достовірніші і ефективніші при їх використанні на практиці. Вони повинні створювати основу для нових наукових розробок.

Одним з найважливіших вимог, що пред'являються до наукового дослідження, є наукове узагальнення, яке дозволить встановити залежність і зв'язок між досліджуваними явищами і процесами та зробити наукові висновки. Чим глибше висновки, тим вище науковий рівень дослідження теоретичних досліджень. За цільовим призначенням наукові дослідження бувають теоретичні та прикладні.

Теоретичні дослідження повинні бути творчими. *Творчість* – це створення за задумом нових цінностей, нові відкриття, винаходи, встановлення невідомих науці фактів, створення нової, цінних для людства знань. Спростувати існуючі або створити нові наукові гіпотези, дати глибоке пояснення процесів або явищ, які раніше були незрозумілими або маловивченими, зв'язати воедино різні явища, тобто знайти основу досліджуваного процесу, науково узагальнити велику кількість експериментальних і теоретичних даних – все це неможливо без теоретичного творчого мислення.

Творчий підхід до процесу вимагає отримання об'єктивних даних. Вдосконалення відомого рішення потребує удосконалення є процесом переконструювання об'єкта мислення в оптимальному напрямку. При певних умовах процес вдосконалення призводить до певного теоретичного вирішення. Оригінальність виявляється у своєрідній, неповторній точці зору на процес або явище.

Творчий характер мислення при розробці теоретичних аспектів наукового дослідження полягає в створенні уявлень уяви, тобто нових комбінацій з відомих елементів, і базується на наступних прийомах:

- збір та узагальнення інформації;
- постійному співставленні, порівнянні, критичному осмисленні;
- виразному формулюванні власних думок, їх письмовому осмисленні;
- вдосконаленні та оптимізації власних положень.
- Творчий процес теоретичного дослідження має кілька стадій:
- знайомство з відомими рішеннями;
- перебір різних варіантів рішення;
- відмова від відомих шляхів вирішення аналогічних завдань;
- висунення власних рішень.

Творче рішення часто не вкладається в заздалегідь намічені плани. Іноді оригінальні рішення виникають «раптово», після, здавалося б, тривалих і безплідних спроб.

Чим більше відомих (типових, шаблонних) рішень, тим важче запропонувати власне оригінальне рішення. Часто вдалі рішення виникають у фахівців суміжних областей, на яких не тисне вантаж відомих рішень. Творчий процес являє по суті розрив звичних уявлень і поглядів на явища з іншої точки зору.

Власні творчі думки, оригінальні рішення виникають тим частіше, чим більше сил, праці, часу витрачає науковець на постійне обдумування об'єкта дослідження, чим глибше він захоплений проблемою, що досліджується.

Успішне виконання теоретичних досліджень залежить не тільки від кругозору, наполегливості і цілеспрямованості науковця, а й від того, якою мірою він володіє науковими методами, зокрема дедукцією і індукцією.

Дедуктивний – це такий спосіб дослідження, при якому приватні положення виводяться із загальних.

Індуктивний – це такий спосіб досліджень, при якому по окремим фактам і явищам встановлюються загальні принципи і закони. Найчастіше всього даний спосіб застосовують в теоретичних дослідженнях. Так, Д. І. Менделєєв, використовуючи розрізнені факти про хімічні елементи, сформулював закон, відомий під назвою «періодичний».

При теоретичних дослідженнях використовують як індукцію, так і дедукцію. Обґрунтовуючи гіпотезу наукового дослідження, встановлюють її відповідність загальним законам діалектики і природознавства (дедукція). У той же час гіпотезу формулюють на основі окремих фактів (індукція). Особливу роль в теоретичних дослідженнях грають способи аналізу і синтезу.

Аналіз – це спосіб наукового дослідження, при якому явище розчленовується на окремі частини.

Синтез – протилежний аналізу спосіб наукового дослідження, що полягає в дослідженні явища в цілому, на основі об'єднання пов'язаних один з одним елементів в єдине ціле. Синтез дозволяє узагальнювати поняття, закони, теорії, інформації, глибини її творчого аналізу, стрункості і цілеспрямованості методологічних висновків за результатами аналізу, чітко сформульованих цілей і завдань дослідження, досвіду і ерудиції науковця.

При аналізі явищ і процесів виникає необхідність розглянути велику кількість фактів (ознак). Важливо вміти виділити головне. У цьому випадку може бути застосований спосіб **ранжирування**, за допомогою якого визначаються фактори, які найбільш суттєво впливають на досліджуване явище. Цей метод допускає посилення основних і ослаблення другорядних фактів, дозволяє вивчати головні особливості процесів і явищ в рівних умовах. Наприклад, при вивченні прогинів балок основним фактором є діюча сила і жорсткість балки, при цьому постійними приймають перетин, відстані між опорами, характер навантаження, температуру балки тощо. У наукових дослідженнях широко застосовується спосіб **абстрагування**, тобто відволікання від другорядних фактів з метою зосередитися на найважливіших особливостях досліджуваного явища,

наприклад, при дослідженні роботи якого-небудь механізму аналізують розрахункову схему, яка відображає істотні основні властивості механізму.

У ряді випадків використовують спосіб **формалізації**. Сутність його полягає в тому, що основні положення процесів і явищ представляють у вигляді формул і спеціальної символіки. Застосування символів та інших знакових систем дозволяє встановити кількісні закономірності між досліджуваними фактами.

У теоретичних дослідженнях можливі два методи: логічний і історичний. Логічний метод включає в себе гіпотетичний і аксіоматичний.

Гіпотетичний метод заснований на розробці гіпотези, наукового припущення, що містить елементи новизни і оригінальності. Гіпотеза повинна повніше і краще пояснювати явища і процеси, підтверджуватися експериментально і відповідати загальним законам діалектики і природознавства. Цей метод дослідження є основним, найбільш поширеним в прикладних науках.

Гіпотеза становить суть, методологічну основу, теоретичне передбачення, стрижень теоретичних досліджень. Будучи керівної ідеєю всього дослідження, вона визначає напрямок і обсяг теоретичних розробок.

Сформулювати чітко і повно робочу гіпотезу на початку дослідження, як правило, важко. Але від якості сформульованої гіпотези чи проблеми, визначається ступінь її наближення до остаточного теоретичного вирішення, залежить трудомісткість і тривалість теоретичних розробок. Успіх у досягненні мети залежить від повноти зібраної інформації, глибини її творчого аналізу, стрункості і цілеспрямованості методичних висновків за результатами аналізу, чітко сформульованої мети і фахових компетенцій, ерудиції науковця та, найголовніше, його працездатності.

На стадії формулювання гіпотези теоретичну частину необхідно розчленувати на окремі питання, що дозволить проводити одночасно дослідження різними науковцями і науковими колективами. Основою для опрацювання кожного питання є теоретичні дослідження, виконані різними

авторами і організаціями. Науковець на основі їх глибокого опрацювання, критичного аналізу конкретних питань розроблюваної теми і формулювання (в разі необхідності) своїх пропозицій розвиває існуючі теоретичні уявлення або пропонує нове, більш раціональне теоретичне рішення теми.

Аксиоматичний метод – заснований на очевидних положеннях (аксіомах), прийнятих без доказу. За цим методом теорія розробляється на основі дедуктивного принципу. Більш широке поширення він отримав в теоретичних науках (математиці, математичній логіці тощо).

Історичний метод дозволяє досліджувати виникнення, формулювання і розвиток процесів і подій у хронологічній послідовності з метою виявити внутрішні і зовнішні зв'язки, закономірності і протиріччя. Даний метод дослідження використовується переважно у суспільних і, головним чином, в історичних науках. У прикладних же науках він застосовується, наприклад, при вивченні розвитку і формування тих чи інших галузей науки і техніки.

Між логічним і історичним методами існує єдність, заснована на тому, що будь-яке логічне пізнання повинне розглядатися в історичному аспекті.

У прикладних науках основним методом теоретичних досліджень є гіпотетичний. Його методологія включає в себе наступне:

- вивчення фізичної, хімічної, економічної і інших складових досліджуваного об'єкту, суті досліджуваного явища за допомогою описаних вище способів пізнання;
- формулювання гіпотези і складання плану проведення досліджень;
- вибір математичного методу дослідження моделі і її вивчення;
- аналіз результатів теоретичних досліджень і розробка теоретичних положень(при необхідності).

Опис фізичної та економічної суті досліджуваного явища (або процесу) складає основу теоретичних розробок. Такий опис має всебічно висвітлювати суть процесу і базуватися на законах фізики, хімії, механіки, фізичної хімії, політекономії та таке ін. Для цього дослідник повинен знати класичні закони

природних і суспільних наук і вміти їх використовувати стосовно запропонованої робочої гіпотези наукового дослідження.

Для якісного аналізу функціонування системи використовуються спеціально розроблені методи такі як «мозковий штурм», метод експертних оцінок. Суть «мозкового штурму» полягає в тому, що кожний з його учасників, не вступаючи в полеміку з колегами, пропонує свій варіант розв'язання проблеми, і після порівняння варіантів провідний вчений (керівник) роботи відбирає кращий (один або суперпозицію кількох) і обґрунтовує його перед учасниками «мозкового штурму».

Метод експертних оцінок базується (полягає) на припущеннях про те, що на основі думки досвідчених спеціалістів, які займаються дослідженнями і розробками у визначеній області знань, можна побудувати адекватну модель досліджуваної системи і оцінити її функціонування.

Останнім часом все більшого значення набувають дослідження з питань прогнозування та економічного обґрунтування, а також організації виробництва, що відображають в комплексі складні системи. Для оптимізації структур підприємств, інформаційних та інших управлінських процесів широко застосовуються комп'ютерні технології що дозволяє більш ефективно і економно отримати інформацію про досліджуваний об'єкт, сформулювати гіпотезу наукового дослідження і намітити план його виконання, перевірити робочу гіпотезу.

3. Класифікація і методологія експериментальних досліджень

Конкретно-наукові методи наукового пізнання є специфічними методами конкретних наук. Ці методи формуються в залежності від цільової функції даної науки і характеризуються взаємним проникненням в однорідні галузі наук.

В дослідженнях часто використовують *аналітичні методи* дослідження, за допомогою яких можна встановити математичну залежність між параметрами предмета, що вивчається. Ці методи дозволяють глибоко і всебічно вивчити процеси, що досліджуються, встановити точні кількісні зв'язки між аргументами

і функціями, глибоко проаналізувати явища та предмети, що досліджуються. При цьому широко застосовуються елементарні функції і рівняння, особливо, коли хочуть спростити модель, що досліджується і отримати наближений розв'язок поставленої задачі. Для цього широко використовуються лінійні функції і рівняння, при дослідженні шарових будівельних матеріалів. Враховуючи, що напруга в шаровому матеріалі розповсюджується прямо пропорційно модулям пружності його компонентів, за допомогою елементарних лінійних рівнянь можна отримати ряд корисних відомостей.

Аналітичні методи дозволяють вивчати на основі математичних моделей, які можуть бути представлені у вигляді функцій, рівнянь, системи рівнянь, в основному диференціальних або інтегральних. Такі моделі мають багато інформації. Характерною особливістю математичних моделей є те, що вони, як система рівнянь описують фізичні процеси з яких складається явище. На початку дослідження створюється груба приблизна модель, яка в процесі роботи уточняється. Відкоригована модель дозволяє досить точно розрахувати фізичні характеристики явища. При цьому дослідник отримує нову інформацію про функціональні зв'язки і властивості моделей. Проте таким моделям властиві суттєві недоліки. Для того, щоб із загального класу знайти часткове рішення, властиве тільки даному процесу, необхідно задати умови однозначності. В багатьох випадках відшукати аналітичний вираз з урахуванням умов однозначності досить важко.

Експериментальні методи дозволяють глибоко вивчити процеси точності технології експерименту і сконцентрувати увагу на тих параметрах процесу, які представляють найбільший інтерес. При експериментальному методі кожний конкретний процес досліджується досліджений самостійно, окремо, що дозволяє встановити часткову залежність між окремими змінними в строго визначених інтервалах їх зміни. Аналіз змінних характеристик за границями цих інтервалів може привести до спотворення залежності аж до грубих помилок і неправильних висновків.

Таким чином і аналітичні і експериментальні методи мають свої переваги і недоліки, які часто ускладнюють ефективне розв'язання практичних задач. Тому, для досягнення позитивних результатів необхідно поєднувати аналітичні і експериментальні методи дослідження і перевіряти їх на відповідні теорії.

Емпіричні методи пізнання відіграють велику роль в науковому дослідженні. Вони не тільки є основою для підкріплення теоретичних положень, але часто складають предмет нового відкриття, наукового дослідження. Вони спрямовані на виявлення, точний опис і ретельне вивчення різних факторів досліджуваних явищ і процесів. У наукових дослідженнях вони вирішуються за допомогою спостереження і експерименту.

Спостереження – це метод пізнання, при якому об'єкт дослідження вивчають без втручання у нього; фіксують, вимірюють лише відкриті властивості об'єкта, характер його зміни.

Експеримент – це метод пізнання при якому проводиться не тільки спостереження і вимірювання всіх властивостей, але і здійснюється перестановка, зміна об'єкту, дослідження, вплив на нього. Це дає можливість виявити у об'єкта дослідження вплив одного фактору на інший.

Основною метою експерименту є перевірка теоретичних положень (підтвердження або спростування робочої гіпотези), а також найбільш широке і глибоке вивчення теми наукового дослідження. Експериментальне дослідження – спосіб дослідження в основі якого лежить експеримент, який являє собою спостереження, науково-поставлений дослід в точно заданих умовах, слідкування за його ходом, керування ним, відновлювання його кожний раз при повторюванні цих умов.

Експеримент має бути проведений в найкоротші строки з бажано мінімальною затратою матеріально - фінансових ресурсів при високій якості отриманих результатів.

Експерименти бувають природні і штучні.

Природні експерименти характерні для соціальних явищ в умовах, наприклад виробництва, побуту, тощо.

Штучний експеримент широко застосовується в багатьох галузях і в першу чергу в технічних науках.

Іноді виникає необхідність провести **пошукові експериментальні дослідження**. Вони необхідні в тому випадку, якщо важко оцінити внесок кожного чинника, що впливає на досліджуване явище внаслідок відсутності достатніх попередніх даних. На основі попереднього (пошукового) експерименту будується програма досліджень в повному обсязі.

Експериментальні дослідження поділяються на лабораторні і виробничі.

Лабораторні дослід проводяться із застосуванням приладів, спеціальних моделюючих пристроїв, стендів, обладнання, тощо. Ці дослідження дозволяють найбільш повно і доброякісно вивчити вплив одних характеристик при варіюванні інших. Проте, такі експерименти не завжди повністю моделюють хід процесу, що вивчається

Виробничі експериментальні дослідження мають мету вивчити процес в реальних умовах з врахуванням дії різних випадкових факторів виробничого середовища. Наприклад, для вивчення процесів деформації і руйнування конструкцій доріг створюють спеціальні експедиції, які обстежують конструкції в осінні і весняні періоди підвищеної вологості. Цінність зібраних матеріалів, які оформлені за стандартами полягає в тому, що вони систематизовані за багато років і по єдиній методиці. Для обробки таких даних застосовують методи статистики і теорію ймовірності.

У виробничому експерименті можна застосувати метод анкетування. Для вивчення процесу складають старанно продуману методичку. Основні дані збирають методом опитування виробничих організацій або висококваліфікованих фахівців у цій галузі за попередньо складеною анкетною. Але результати анкетних опитувань мають вагому суб'єктивну складову, тобто вони не завжди є об'єктивними.

Методологія експерименту – це загальні принципи, структура експерименту, його постановка і послідовність виконання експериментальних досліджень. Методологія експерименту складається з таких основних етапів:

- розробка плану-програми експерименту;
- метрологія вимірювання і вибір засобів для проведення експерименту;
- обробка і аналіз експериментальних даних, встановлення адекватності.

Поряд з цим застосовують математичну теорію експерименту, за допомогою якої можна збільшити точність і зменшити об'єм експериментальних досліджень. В такому випадку методологія експерименту включає такі етапи:

- розробка плану-програми експерименту;
- математичне планування експерименту з одночасним проведенням експериментального дослідження;
- обробка і аналіз отриманих даних.

План-програма включає назву теми, перелік необхідних матеріалів, приладів, обладнання, список виконавців, календарний план робіт і кошторис проведення дослідження. Якщо необхідно виконати прилад, апарат, методичне забезпечення, і при необхідності також програми дослідних робіт на підприємствах тощо.

Оснoву плану-програми складає методика експерименту.

Методика – це система прийомів або способів для послідовного, найбільш ефективного експериментального дослідження і включає:

- мету і задачі експерименту;
- вибір значення варіативних факторів;
- обґрунтування засобів вимірювання і необхідної кількості вимірів;
- порядок проведення експерименту;
- обґрунтування способів обробки і аналізу результатів експерименту.

Визначення мети і задачі експерименту є одним із найбільш важливих етапів. На основі аналізу інформації, гіпотези і теоретичних розробок обґрунтовується мета і завдання.

Визначення варіюючих факторів – це встановлення основних і другорядних характеристик, які впливають на процес, що досліджується, встановлюють залежність між цими факторами. Основним принципом встановлення ступеня важливості характеристики є її роль в досліджуваному процесі. Для цього вивчають процес в залежності від якої-небудь однієї змінної при останніх *constant*, тоді коли змінних характеристик мало (1-3), якщо ж змінних величин багато використовують принцип багатofакторного аналізу.

Однією з різновидів виробничих експериментів є збирання матеріалів в організаціях, які накопичують за стандартними формами ті або інші дані. Цінність цих матеріалів полягає в тому, що вони систематизовані за багато років за єдиною методикою. Такі дані добре піддаються обробці методами статистики і теорії ймовірностей.

4. Загальні вимоги до планування та стратегії експерименту

В інженерній справі дослідник майже завжди зустрічається з невідтворюваним експериментом. Такий експеримент неможливо змінити або повторити (наприклад, випробування на знос, руйнування і т.д.). Проте, експеримент вважається відтвореним, якщо зміни, що вносяться до процес експерименту, настільки малі, що їх неможливо виявити або ними можна знехтувати.

Плани проведення експерименту можуть бути двох видів:

1. **Послідовний** – план, при якому спочатку береться верхнє або нижнє граничне значення незалежної випадкової величини, а потім воно змінюється через певні інтервали до досягнення другого граничного значення.

2. **Випадковий** – план, за яким значення незалежної величини варіюється випадковим чином (рандомізовано), тобто вона приймає то менше, то більше значення.

В даний час дослідники часто вважають за краще послідовний план. Однак, частково або повністю випадковий план краще для багатьох інженерних експериментів, так як він дозволяє виключити вплив зовнішніх умов на

експеримент, що неможливо досягти при послідовному плані. Природні ефекти можуть мати тенденцію до зміни в процесі експерименту (температура, вологість повітря і ін.). Якщо незалежна змінна x змінює своє значення послідовно, то залежна змінна y може змінюватися внаслідок зміни x або зміни зовнішніх умов. Якщо ж x змінюється випадковим чином, то виключається можливість помилково прийняти вплив зовнішніх впливів за вплив x . Тому послідовний план доцільно застосовувати лише у випадках, при яких експеримент є невідтворюваним, або вплив інших факторів вивчено, або якщо відомо, що вони суттєво не впливають на досліджуване явище чи процес. Область досліджуваних значень слід (якщо можливо) розбити на інтервали так, щоб відносна точність на всьому протязі досліджуваної залежності була однаковою.

5. Планування та проведення багатофакторного експерименту

При проведенні багатофакторних експериментів вибирається класичний або факторний план. Факторний план часто буває коротше і завжди точніше класичного (при однаковій тривалості експерименту).

Класичний план полягає в тому, що всі незалежні змінні, крім однієї, наприклад x , Приймають постійними, а цю одну змінну змінюють у всьому інтервалі допустимих значень. В результаті дослідження знаходиться залежність $z = f(x)$. Змінюючи наступну змінну величину (наприклад, y) і приймаючи інші змінні постійними, знаходять залежність $z = f(y)$, тобто класичний багатофакторний експеримент являє собою послідовність однофакторних експериментів. Таким шляхом знаходяться порівняно прості функціональні залежності:

$$z = Ay^n + Bx^m \quad \text{або} \quad z = Ay^n x^m \quad (4.1)$$

Факторний план передбачає отримання математичної моделі процесу. Таку модель можна використовувати для знаходження раціональних умов управління процесом, а також для коригування і уточнення теоретичних уявлень про досліджуваному процесі.

Багатофакторне планування, засноване на загальному математичному апараті, дає можливість описувати процес не тільки математично, але і розкривати об'єктивні закономірності, а також перевіряти адекватність представлення результатів експерименту певною інтерполяційною залежністю. При цьому скорочується обсяг досліджень, а обсяг інформації про процес збільшується.

Рішення багатофакторних задач традиційними методами не дає можливості визначити характер взаємодії факторів між собою і їх спільного впливу на вихідний параметр. У керованому експерименті всі досліджувані фактори змінюються одночасно за певним планом, цим досягається різке скорочення обсягу експериментів і отримання більш достовірної залежності, що враховують взаємодію факторів. Таким чином, математична теорія експерименту і його планування являє собою якісно новий підхід до дослідження, в якому математичним методом відводиться активна роль на всіх етапах дослідження при формалізації апріорних відомостей, плануванні і обробці результатів експерименту, а також при прийнятті конкретних рішень.

Розглянемо методику складання плану для проведення експерименту і обробки його результатів на прикладі повного факторного експерименту.

Повний факторний експеримент (ПФЕ) реалізує всі можливі неповторювані комбінації рівнів незалежних факторів, кожен з яких варіюється на двох рівнях. Число цих комбінацій $N = 2^K$.

Знаходження моделі методом ПФЕ складається з:

- Планування експерименту;
- Експерименту;
- Перевірки відтворюваності (різниці вибірових дисперсій);
- Отримання математичної моделі об'єкта з перевіркою статистичної значущості вибірових коефіцієнтів регресії;
- Перевірки адекватності математичного опису.

Математичну модель процесу, яка містить члени першого ступеня, прийнято називати плануванням першого порядку. Для його планування ПФЕ

задається у вигляді таблиць-матриць, де в кожному стовпці для всіх факторів k варіація проводиться тільки на двох рівнях, тобто змінна може приймати тільки два свої екстремальні значення. Центр експерименту при цьому знаходиться на першому рівні, що відповідає середньому або базисному значенням фактору.

Фактори кодуються за допомогою залежності:

$$\tilde{x}_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i_0}}{\Delta\bar{x}_i}, \quad (4.2)$$

де \tilde{x}_i – кодоване значення фактору (безрозмірна величина);

\bar{x}_i – значення фактору в іменованих (натуральних) одиницях;

\bar{x}_{i_0} – натуральне значення фактору на нульовому рівні;

$\Delta\bar{x}_i$ – натуральне значення інтервалу варіювання.

Верхній рівень варіювання фактору позначається (+1), нижній – (-1). У центрі експерименту фактор має базисний рівень (середнє значення). Межі варіювання факторів відомі з апріорної інформації або мають технічні обмеження. У процесі проведення експерименту максимальне і мінімальне значення факторів комбінуються у всіх можливих поєднаннях.

Крім матриці з кодованими факторами, для проведення експерименту складають матрицю з натуральними значеннями факторів. Зокрема, для трьох факторів всі можливі їх комбінації можуть бути вичерпані при реалізації восьми серій дослідів. Таким чином, кількість експериментів для даного випадку ПФЕ становить 2^K , де 2 – число рівнів; максимальне і мінімальне значення опрацьованого показника K – число варійованих факторів.

Після проведення експерименту в розпорядженні дослідника є:

- матриця-план незалежних змінних і ефектів взаємодії;
- вектори-стовпці функції виходу.

Мета подальшої роботи – визначити коефіцієнти інтерполяційного рівняння, яке є рівнянням регресії, яке отримано на підставі результатів дослідження, що досягається достатньо простим вирішенням системи рівнянь першого порядку. Основною перевагою ПФЕ є скорочення матеріально –

технічних ресурсів на проведення експерименту, зменшення впливу похибок окремих вимірювань на загальний результат.

Контрольні питання:

1. Що таке наукове дослідження?
2. Визначте поняття «об'єкт» і «предмет» дослідження
3. Що таке методологія?
4. Назвіть види, методи і способи наукових досліджень.
5. Назвіть види емпіричних досліджень.
6. Перерахуйте етапи емпіричних досліджень.
7. Назвіть мету аналітичних досліджень.
8. Які існують плани проведення експерименту?
9. У чому є особливості проведення багатофакторного експерименту?

ЛЕКЦІЯ 5

ТЕМА 2. МЕТОДИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

План

1. **Вимірювання. Класи вимірювань.**
2. **Вимоги до засобів вимірювання.**
3. **Перевірка засобів вимірювання.**
4. **Процес проведення експериментальних досліджень.**
5. **Похибки вимірювань.**

Література: [1, 5, 6, 10 15, 16, 19, 23, 25, 26]

1. **Вимірювання. Класи вимірювань**

Вимірювання є основною складовою частиною будь-якого експерименту. Від ретельності вимірювань і коректності подальших обчислень залежать результати експерименту і, головне, висновки. Тому кожен експериментатор повинен знати порядок процесів вимірювання і застосовувати його на практиці:

- уміти правильно виміряти досліджувані величини;
- оцінити похибки вимірів;
- правильно, з необхідною точністю, обчислити дослідженні значення в оптимальних величинах і визначити мінімальну кількість вимірювань;
- визначити найкращі умови вимірювань, при яких похибки будуть найменшими, і робити загальний критичний аналіз результатів вимірювань.

Вимірювання – це процес знаходження значення будь-якої фізичної величини (експеримент) за допомогою спеціальних технічних засобів шляхом порівняння її з відомою величиною, прийняту за одиницю (еталон) вимірювання цієї величини.

Теорією і практикою вимірювань займається спеціальна наука – *метрологія*.

Вимірювання бувають статичними, коли вимірювана величина не змінюється в процесі дослідження, і динамічними, коли вона змінюється (наприклад, при вивченні пульсуючих процесів).

Крім того, вимірювання поділяються на прямі і непрямі.

При прямих вимірюваннях шукану величину встановлюють безпосередньо з експерименту, при непрямих – функціонально, в залежності від інших величин, які знайдені прямими вимірюваннями: $b = f(a)$, де b – величина, яка буде знайдена за допомогою непрямих вимірювань, a – результат прямих вимірювань.

Розрізняють три класи вимірювань:

1. Особливо точні – еталонні вимірювання з максимально можливою точністю. Цей клас майже не застосовується в експериментальних дослідженнях, а застосовується для градування вторинних еталонів.

2. Високоточні – вимірювання, похибка яких не повинна перевищувати заданих значень. Цей клас вимірювань використовують при деяких найбільш відповідальних експериментах, а також для контрольних-перевірочних вимірювань приладів.

3. Технічні вимірювання, в яких похибка визначається характеристиками засобів вимірювання.

2. Вимоги до засобів вимірювання

Невід'ємною частиною експериментальних досліджень є засоби вимірювань, тобто сукупність технічних засобів (що мають нормовані похибки), які дають необхідну інформацію у процесі проведення експерименту. В даний час приладобудуванням випускається велика кількість засобів вимірювань і спостережень. Серед них можна виділити такі основні групи приладів для вимірювання наступних показників: фізичних, механічних, хімічних властивостей, а також структури матеріалу і виробів. Поряд з цим можна виділити засоби вимірювання, які дозволяють безпосередньо визначити випробуваний показник (наприклад, прес для визначення міцності матеріалів), і

засоби вимірювання, які дають можливість побічно судити про досліджуваний показник (ультразвукові дефектоскопи, що дозволяють оцінити міцність, дефектність матеріалу по швидкості проходження в ньому ультразвуку).

До засобів вимірювань відносять вимірювальний інструмент, вимірювальні прилади і установки. Вимірювальні засоби ділять на зразкові і технічні.

Зразкові засоби є еталонами. Вони призначені для перевірки технічних, тобто робочих засобів. Зразкові засоби не обов'язково повинні бути точніше робочих, але вони повинні мати більшу стабільність і надійність у відтворенні, зразкові засоби, як правило, не застосовують для робочих вимірювань.

З метою підвищити точність і чутливість вимірювань, а також для розширення діапазону вимірювань, додатково використовують вимірювальні перетворювачі.

Вимірювальним приладом називають засіб вимірювання, призначений для отримання певної інформації про досліджувану величиною в зручній для експериментатора формі. У цих приладах вимірювана величина перетворюється в показання або сигнал. Вони складаються з двох основних вузлів: того що сприймає сигнал і того, що перетворює в показання.

Прилади класифікують за різними ознаками. За способом відліку значення вимірюваної величини їх ділять на ті, що показують і ті, що реєструють.

Найбільшого поширення набули аналогові прилади, що показують значення на відліковому пристрої, який складається зі шкали і покажчика. Ці прилади дають показання без будь-яких додаткових операцій експериментатора. Однак вони зазвичай мають більші похибки, ніж цифрові. Цифрові прилади (механічні, електронні та ін.) більш зручні – в них відліковий механізм показує вимірювану величину у цифрах. Реєструючи прилади бувають самописними і друкованими. Самописні прилади (термограф, шлейфовий осцилограф і ін.) видають графічну залежність вимірюваної величини. Друковані прилади видають результати вимірювання на паперовому носії, аркуші або на стрічці.

Прилади також класифікують за точністю вимірювань, стабільністю показань, чутливістю, меж вимірювання та ін.

Вимірювальна установка (стенд) являє собою систему, що складається з основних і допоміжних засобів вимірювальної техніки, призначених для вимірювання однієї складної або декількох величин. Установки включають в себе різні прилади і перетворювачі. Перетворювачі призначені для одно- або багатоступінчастого перетворення сигналу до такого рівня, щоб його можна було зафіксувати вимірювальним механізмом приладу. Перетворювачі, які збільшують в кілька разів на виході величину без зміни її фізичної сутності, називають *масштабними перетворювачами* (трансформатори, електронні підсилювачі і ін.). Вони набули найбільшого поширення. Є також перетворювачі, які вхідний сигнал можуть перетворювати, змінюючи його фізичну сутність. Так, електромеханічний перетворювач перетворює електричний сигнал на вході, а механічний на виході. Один прилад може мати кілька перетворювачів, що змінюють на виході вимірювану величину в різних діапазонах. У кожному разі при вимірюванні певної величини за допомогою перетворювача вибирають необхідний діапазон вимірювань.

Вимірювальні установки можуть виробляти також сигнали, зручні не тільки для зняття показань спостережень, але і для автоматичної обробки результатів вимірювань. Зазвичай при проведенні експериментів доводиться створювати вимірювальні установки з метою визначення різних фізичних величин. Вихідний сигнал вимірювальних засобів фіксується відліковими пристроями, які бувають шкальними, цифровими і реєструючими. Шкала є важливою частиною приладу. Відстань в міліметрах між двома суміжними відмітками на шкалі називають довжиною поділки шкали. Різниця між значеннями вимірюваної величини, що відповідає початку і кінцю шкали, називають діапазоном показань приладу.

Вимірювальні прилади (відлікові пристрої) характеризуються величиною похибки і точності, стабільністю вимірювань і чутливістю.

Похибки приладів. Під абсолютною похибкою вимірювального приладу розуміють величину:

$$b = \pm(x_H - x_D), \quad (5.1)$$

де x_H – показання приладу (номінальне значення вимірюваної величини);
 x_D – дійсне значення вимірюваної величини, яка може бути виміряна більш точним методом.

Похибка приладу – одна з найважливіших його характеристик. Вона виникає внаслідок ряду причин: недоброякісних матеріалів, комплектуючих виробів, що застосовуються для виготовлення приладів; недостатньої якості виготовлення приладів; незадовільною експлуатацією його, зношення тощо. Для їх врахування періодично проводиться перевірка приладів з відповідною позначкою на шкалі приладу.

Крім систематичних похибок при вимірюванні виникають випадкові, які обумовлені поєднаним впливом різних випадкових чинників – помилками відліку, паралаксом, варіацією і т.д. Таким чином, необхідно розглядати і враховувати при обчисленні не будь-які окремі, а сумарні похибки приладів.

Часто для оцінки похибки приладів застосовують відносну похибку ($b, \%$):

$$b_{om} = \pm \frac{x_H - x_D}{x_D} * 100\%, \quad (5.2)$$

Іноді застосовують поняття приведеної похибки:

$$b_{np} = \pm \frac{x_H - x_D}{x_{np}}, \quad (5.3)$$

де x_{np} – будь-яке значення шкали вимірювального пристрою (діапазон вимірювань), довжина шкали тощо.

Сумарні похибки, що встановлені при певних умовах ($t_e = 20^\circ\text{C}$ $t_g = 20$, вологість повітря 80%, $p = 760$ мм.рт. ст.), зазвичай називають основними похибками приладу.

Діапазоном вимірювань називають ту частину діапазону показників приладу, для якої встановлені похибки приладу. Якщо відомі похибки приладу, то діапазон вимірювань і показань приладу збігаються.

Діапазон вимірювань є важливою характеристикою приладу. Якщо шкала вимірювань змінюється від 0 до N , то в характеристиці на прилад діапазон вказують в межах $0 - N$. Ряд приладів з нижньою межею вимірювання 0 має велику похибку в інтервалі $0 - 25\%$ від верхньої межі вимірювань, тобто чверть довжини шкали (початок) може давати похибку, що перевищує b . Тому є багато приладів без нижньої нульової межі вимірювання, наприклад у барометра $100 - 1000$ Па.

Прилади не можна перевантажувати, тобто значення вимірюваної величини не має перевищити верхню межу вимірювального приладу. Деякі прилади витримують перевантаження, проте, з часом похибки у верхній межі вимірювань істотно зростають. Ряд приладів може витримувати тільки обмежені перевантаження.

Різниця між максимальним і мінімальним показником приладу називають розмахом. Якщо ця величина непостійна, тобто якщо при зворотному ході є збільшення або зменшення ходу, то цю різницю називають варіацією свідчень ω . Величина ω – це найпростіша характеристика похибки приладу. Іншою характеристикою приладу є його чутливість, тобто здатність відлічує пристрої реагувати на зміни вимірюваної величини. Під порогом чутливості приладу розуміють найменше значення вимірюваної величини, що викликає зміну показання приладу, яке можна зафіксувати.

Точність приладу – основна його характеристика. Вона характеризується сумарною похибкою.

Засоби вимірювання діляться по класах точності в залежності від похибок B_d . Клас точності приладу позначає допустиму, сумарну, відносну похибку (b_{om}) від верхньої межі вимірювань. Так, якщо клас приладу дорівнює 1, то допускається відносна похибка дорівнює $\pm 1\%$. Для приладу з верхньою межею вимірювання $3 \cdot 10^3$ кг/м³ допустима похибка не повинна перевищувати $3 \cdot$

10 кг/м³ всієї робочої шкали. Якщо ж верхня межа $\pm 3 * 10^5$, $\pm 3 * 10^6$ кг/м³, допустима похибка відповідно дорівнює $\pm 3 * 10^3$ і $\pm 3 * 10^4$ кг/м³.

Стабільність або відтворюваність приладу – це властивість відлікового пристрою забезпечувати сталість показань однієї і тієї ж величини. В результаті старіння матеріалів з часом порушується стабільність показань приладів. Стабільність приладу визначається варіацією вимірювальних значень. Тому при встановленні стабільності приладу нормують величину варіації – ω_d . Оскільки варіація приймається з одним знаком, а допустима похибка має плюс і мінус, то:

$$\omega_d = 0,58 * b. \quad (5.4)$$

На всі вимірювальні прилади в тій чи іншій мірі діє магнітне поле землі. Тому ряд приладів повинен бути захищений від дії електромагнітного поля, а також електростатичного впливу. У спеціальній метрологічній літературі розроблені схеми захистів I (вищої) і II категорій.

При дослідженні процесів широко застосовуються електричні, електронні, частотні, радіоізотопні та інші прилади. Як правило, такі прилади вимагають спеціального захисту від пилу, вібрації, газу, світла тощо. Відсутність такого захисту може збільшити похибки, які будуть перевищувати нормовані.

Перевірка засобів вимірювальної техніки. Перевірка засобів вимірювальної техніки передбачає визначення і, по можливості, зменшення похибок приладів. Визначення похибок дозволяє встановити чи відповідає даний прилад регламентованому ступеню точності і чи може він бути застосований для даних вимірювань. При перевірці засобів вимірювань потрібно вносити поправки в похибки, визначити чи не виходять вони за межі допустимих значень. Перевірку засобів вимірювань виконують на різних рівнях. Державні метрологічні інститути та лабораторії по нагляду за стандартами і вимірювальною технікою здійснюють контроль за забезпеченням в країні єдності вимірювальних заходів.

Після перевірки державні метрологічні організації видають спеціальне свідоцтво на вимірювальні засоби, в якому вказують номінальні значення

вимірюваної величини, клас точності, граничну допустиму похибку, результати повірки похибки приладу у вигляді таблиці, діапазон вимірювань. Для приладів невисокої точності свідоцтво може не видаватися, а замінюється клеймом повірки, якщо прилад задовольняє вимогам стандарту або інструкції.

Вимірювальні прилади та установки різних організацій піддають обов'язковій державній повірці раз в 0,5 - 2 роки. При нормальному поводженні з приладами цього терміну цілком достатньо для гарантованого отримання достовірних даних експлуатації. Однак, в ряді випадків внаслідок недбалого поводження з приладами їх експлуатаційно-вимірювальні характеристики порушуються і тоді проводиться незапланована повірка. Вона зазвичай проводиться також перед проведенням особливо важливих експериментів.

У періоди між державною проводять відомчі повірки засобів вимірюваної техніки. Ці перевірки за обсягом робіт іноді мало чим відрізняються від держповірок. Однак, як правило, такі перевірки проводять за скороченою програмою. Тому вони більш оперативні, ніж державні, проводяться за спеціальним графіком, розробленим для даної організації.

Аналіз експлуатаційних якостей вимірювальних засобів показав, що прилади і установки, збережені більш-менш тривалий час на складах (1-2 роки), піддаються старінню і погіршують свої властивості. Іноді при цьому похибки перевищують допустимі значення. Тому вимірювальні засоби, що зберігаються на складі довгий строк перед застосуванням необхідно піддати робочої повірці.

Робоча перевірка засобів вимірювальної техніки проводиться безпосередньо в організаціях, які використовують ці засоби вимірювання. Такі перевірки проводяться кожним експериментатором перед початком вимірювань і спостережень. В процесі робочої повірки доводиться проводити різні операції, визначати діапазон вимірювань, варіації вимірів та ін. В окремих випадках виконують регулювання і градування засобів вимірювальної техніки.

Під регулюванням приладу розуміють операції, спрямовані на зниження систематичних помилок до величини, яка менша допустимої похибки. Вимірювальні прилади забезпечені двома регулювальними вузлами для

регулювання нуля і чутливості. Регулювання нуля призначене для усунення систематичних помилок в діапазоні нижньої межі вимірювань.

У ряді випадків виникають систематичні похибки, лінійно зростаючі або спадаючі зі зміною вимірюваної величини. Її можна зменшити за допомогою регулювання вузла чутливості. Оскільки похибка змінюється на різних ділянках шкали, то за допомогою одночасного регулювання вузла нуля і чутливості досягають істотного зниження загальної систематичної похибки приладу на початку, чи у діапазоні вимірювань, середині або наприкінці діапазону приладу.

Під градуванням розуміють нанесення позначок на шкалу пристрою, які відповідають заздалегідь відомій виміряній величині (еталону). Якщо шкала рівномірна, то градування не представляє будь-яких складнощів (достатньо декількох показань). При градуванні нелінійних шкал попередньо регулюють прилад, кріплять до нього шкалу і наносять на циферблат поділки, відповідні заздалегідь відомим значенням вимірюваної величини (обсяг градування значно більший).

Найбільш поширеним способом перевірки приладів і оцінки його експлуатаційних характеристик є спосіб порівняння. Суть його зводиться до зіставлення приладу, що перевіряється, зі зразковим (більш точним, еталонним). Одна і та ж вимірювана величина оцінюється приладом вивіреном і зразковим. За розходженням показань визначаються похибки, які вносять у прилад, що повіряється.

Важливим моментом в організації експерименту є вибір засобів вимірювань. Засоби вимірювання повинні:

- *максимально відповідати тематиці, меті та завданням НДР;*
- *забезпечувати високу продуктивність праці експериментальних робіт з найменшою витратою часу і виконання експерименту в якомога коротший термін;*
- *забезпечувати необхідну якість експериментальних робіт, тобто задану ступінь точності при мінімальній кількості вимірювань, високу відтворюваність і надійність;*

- найбільшою мірою виключати систематичні помилки;
- бажано максимально використовувати засоби вимірювання із автоматичним записом;
- мати високу економічну ефективність при мінімумі витрат людських, фінансових і матеріальних ресурсів;
- забезпечувати ергономічні вимоги експерименту (антропометричні, санітарно-гігієнічні, психофізіологічні та ін.).

При виборі засобів необхідно максимально використовувати апаратуру, яка стандартно випускається та наводиться в спеціальних літературних джерелах.

4. Процес проведення експериментальних досліджень

Залежно від теми наукового дослідження обсяг експериментів може бути різним. У кращому випадку для підтвердження робочої гіпотези досить лабораторного експерименту, але іноді доводиться проводити серію експериментальних досліджень: попередніх (пошукових), лабораторних, виробничих, полігонних на об'єкті, що експлуатується. Для зниження матеріальних витрат на проведення експерименту, часу на обробку і аналіз його результатів, однозначного підтвердження або спростовування робочої гіпотези необхідно чітко обґрунтувати мету і завдання цього експерименту. Тому, перш ніж приступити до експериментальних досліджень, необхідно розробити методологію експерименту.

Методологія експерименту – це загальна структура (проект) експерименту, тобто постановка і послідовність виконання експериментальних досліджень. Методологія експерименту включає в себе наступні основні етапи:

- 1) розроблення плану-програми експерименту;
- 2) обґрунтування засобів вимірювання, оцінювання видів вимірювання, які необхідні для проведення експериментів і вибір засобів вимірювання для проведення експерименту з заданою точністю;
- 3) проведення експерименту;

4) оброблення, аналіз експериментальних даних і обґрунтування висновків.

Зазначені етапи характерні для традиційного експерименту. Але, останнім часом широко застосовується у дослідженнях математична теорія експерименту, що дозволяє підвищити точність і зменшити обсяг експериментальних досліджень. В цьому випадку методологія експерименту включає додатково етап математичного планування експерименту.

Обов'язковою вимогою при проведенні експерименту є ведення журналу. Форма журналу може бути довільною, але повинна найкращим чином відповідати досліджуваному процесу з максимальною фіксацією всіх факторів. У журналі зазначають тему НДР і експерименту, прізвище виконавця, час і місце проведення експерименту, характеристику навколишнього середовища, дані про об'єкт експерименту і засобах вимірювання, результати спостережень, а також інші дані для оцінювання отриманих результатів. Журнал має бути заповнений акуратно, без будь-яких виправлень.

Розглянемо детальніше етапи експериментального дослідження.

План-програма включає найменування теми дослідження, робочу гіпотезу, методику експерименту, перелік необхідних матеріалів, обладнання, список виконавців експерименту, календарний план і кошторис на виконання експерименту. При відсутності необхідних засобів для вимірювання у програмі включаються роботи з конструювання і виготовлення приладів, апаратів, пристосувань, їх перевірка, а також програми дослідницьких робіт в умовах на підприємствах.

Основа плану-програми – методика експерименту. Один з найбільш важливих етапів складання плану-програми – визначення мети і завдань експерименту. Кількість завдань повинно бути невеликим. Для конкретного (не комплексного) експерименту оптимальною кількістю є 3-4 завдання. У великому комплексному експерименті їх може бути від 0 до 10.

Необхідно правильно знайти параметри, що варіюють, тобто встановити основні та другорядні фактори, що впливають на досліджуваний процес.

Спочатку аналізують розрахункові (теоретичні) схеми процесу. На основі цього класифікуються всі фактори і складаються з них регресний за важливістю для даного експерименту, ряд. Правильний вибір основних і другорядних факторів відіграє важливу роль в ефективності експерименту, оскільки він зводиться до знаходження залежностей між цими факторами. У тих випадках, коли важко відразу виявити роль основних і другорядних факторів, виконують, невеликий за обсягом, пошуковий експеримент.

Основним принципом встановлення ступеня важливості фактору є його роль в досліджуваному процесі. Для цього вивчають процес залежно від якоїсь однієї змінної при інших постійних. Такий принцип проведення експерименту виправдовує себе лише в тих випадках, коли змінних характеристик мало (від однієї до трьох). Якщо ж змінних величин багато, доцільно застосувати принцип багатфакторного аналізу.

На обсяг і трудомісткість проведення експерименту істотно впливає його вид. Натурні або виробничі експерименти, як правило, мають велику трудомісткість. Після встановлення обсягу експериментальних робіт складають перелік необхідних засобів вимірювань, перелік матеріалів, список виконавців, календарний план і кошторис витрат. План-програму розглядає науковий керівник, обговорюють в науковому колективі і затверджують в установленому порядку.

Обґрунтування засобів вимірювань – це вибір необхідних для спостережень і вимірювань приладів, обладнання, машин, апаратів та ін. Засоби вимірювання можуть бути обрані стандартні або в разі відсутності таких – виготовлені спеціально.

Дуже відповідальною частиною є встановлення необхідної точності вимірювань і можливих похибок. Методи вимірювань базуються на законах спеціальної науки – метрології, яка вивчає засоби і методи вимірювань.

У методиці детально описують процес проведення експерименту. Спочатку складають послідовність (черговість) проведення операцій вимірювань і спостережень. Потім ретельно описують кожну операцію окремо з

урахуванням вибраних засобів для проведення експерименту. Особливу увагу приділяють методам контролю якості операцій, що забезпечують при мінімальній (раніше встановленій) кількості вимірювань високу надійність і задану точність.

Важливим розділом методики є вибір **методів обробки і аналізу** експериментальних даних. Обробка даних зводиться до систематизації всіх отриманих даних, їх класифікації та аналізу. Особлива увага в методиці повинна бути приділена математичним методам обробки і аналізу експериментальних даних – встановлення емпіричних залежностей, апроксимаційних зв'язків між змінними характеристиками, встановленню критеріїв і довірчих інтервалів тощо.

Після розробки методики визначають обсяг і трудомісткість експериментальних досліджень, які залежать від глибини теоретичних розробок, ступеня необхідної точності вибраних засобів вимірювань. Чим більше теоретично розроблено досліджуване явище, тим менше буде обсяг експерименту. Можливі три варіанта проведення експерименту:

1. Теоретично отримана аналітична залежність, яка однозначно визначає досліджуваний процес. Наприклад,

$$y = 0,2e^{-2x^2}. \quad (5.5)$$

У цьому випадку обсяг експерименту для підтвердження даної залежності мінімальний, оскільки функція однозначно визначається експериментальними даними.

2. Теоретичним шляхом встановлено лише характер залежності. Наприклад,

$$y = ke^{-cx^n}. \quad (5.6)$$

В цьому випадку задано сімейство кривих. Експериментальним шляхом необхідно визначити a і k . Обсяг експерименту вданому випадку зростає.

3. Теоретично не встановлені залежності. Висунуте лише припущення про якісні закономірності процесу між досліджуваними параметрами. Обсяг експериментальних робіт при цьому різко зростає. У цьому випадку доцільно

провести пошуковий експеримент, та застосувати метод математичного планування експерименту.

При складному експерименті часто виникають випадки, коли очікуваний результат отримують пізніше, ніж передбачається планом. Тому науковець повинен проявити терпіння, витримку, наполегливість і довести експеримент до логічного кінця отримання результатів. Особливе значення має сумлінність при проведенні експериментальних робіт, неприпустима недбалість, яка призводить до великих спотворень, помилок, що призводить до необхідності проведення повторних експериментів і, як наслідок, збільшено терміни досліджень.

Результати вимірювань зводять у таблиці по варійованим характеристикам для різних досліджуваних питань. Одночасно з вимірами виконавець має проводити попередню обробку результатів та їх аналіз. Тут особливо повинні виявлятися його творчі здібності. При отриманні в одному статистичному ряду результатів, що різко відрізняються від сусідніх вимірювань, виконавець повинен записати всі дані без спотворень і вказати обставини, супутні вказаному вимірюванню. Це дозволить встановити причини різних відхилень і кваліфікувати виміри як адекватні реальному ходу процесу, що вивчає або як грубий промах. Такий аналіз дозволяє контролювати досліджуваний процес, коригувати експеримент, покращувати методику і підвищувати ефективність експерименту.

У процесі проведення експерименту необхідно дотримуватися вимог інструкцій з промсанітарії, техніці безпеки, пожежної профілактики.

Особливе місце відведено аналізу експерименту – завершальній частині, на основі якої робиться висновок про підтвердження робочої гіпотези наукового дослідження або її спростуванні. Аналіз експерименту – це творча частина дослідження. Іноді за цифрами важко чітко уявити фізичну сутність процесу. Тому потрібно особливо ретельне співставлення фактів, причин, які обумовлюють хід того чи іншого процесу і встановлення адекватності гіпотези та методики експерименту.

При обробці та аналізу результатів вимірювань і спостережень широко використовують методи графічного зображення, які викладені нижче і дають найбільш наочне уявлення про результати експериментів, дозволяють краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності досліджуваних величин.

5. Похибки вимірювань

Попередня перевірка результатів дослідження: підготовка результатів дослідження для аналізу містить в собі визначення похибок вимірювань, визначення довірчого інтервалу і довірчої ймовірності та мінімальну кількість вимірювань, що гарантують необхідні величини точності і довірчої ймовірності вимірювання.

Абсолютна похибка вимірювання ε – це алгебраїчна різниця між дійсним значенням вимірюваної величини x_q і отриманим при вимірюванні x_i :

$$\varepsilon = x_q - x_i \quad (5.7)$$

Вимірювання x_q – це таке значення вимірюваної величини, яке апріорі точніше, ніж одержуване при вимірюванні. З певним припущенням x_q можна вважати точним або дійсним значенням шуканої величини.

Відносна похибка вимірювання ($\delta\%$) визначається за формулою:

$$\delta = \pm \frac{\varepsilon}{x_q} * 100\%. \quad (5.8)$$

Достовірність вимірювання показує ступінь довіри до результатів вимірювання, тобто ймовірність відхилень вимірювання від дійсних значень.

Щоб підвищити точність і достовірність вимірювань, необхідно зменшувати похибки. Похибки при вимірюваннях виникають внаслідок ряду причин: недосконалість методів і засобів вимірювань; недостатньо ретельного проведення експерименту; впливу різних зовнішніх факторів в процесі досліджень, суб'єктивних особливостей експериментатора тощо. Ці причини є результатом дії багатьох чинників.

Вимірювання похибки поділяють на систематичні і випадкові.

Систематичні – це такі похибки вимірювань, які при повторних експериментах є постійними (або змінюються за відомим законом). Якщо чисельні значення цих похибок відомі, їх можна врахувати під час вимірювань.

Випадковими називають похибки, що виникають чисто випадково при повторному вимірюванні. Ці виміри не можуть бути виключені, як систематичні. Однак при наявності багаторазових повторень вимірювань виміри, які найбільш відхиляються від середнього (найбільш вірогідного дійсного) значення, можна виключити за допомогою статистичних методів. Це так звані грубі похибки або промахи; вони істотно перевищують систематичні або випадкові похибки. Промахи і грубі похибки викликані, як правило, помилками експериментатора або дефектами вимірювального обладнання. Їх необхідно виявити і у розрахунок виміри, які мають ці похибки не приймаються і при обчисленні x_q вони виключаються. Прийнято вважати, що загальна похибка ε дорівнює сумі систематичної і випадкової похибок:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2, \quad (5.9)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – систематичні і випадкові похибки вимірювань.

В процесі експерименту важко відокремити систематичні похибки від випадкових. Однак при ретельному і багаторазовому вимірюванні все ж можна виключити систематичні похибки (помилки). Основне завдання вимірювання полягає в тому, щоб отримати, по можливості, результати вимірювань з меншими похибками, достатніми для отримання необхідної точності достовірності. Нижче розглянуті основні принципи і методи усунення систематичних і випадкових помилок.

Систематичні похибки можна поділити на *п'ять груп*.

1 група – інструментальні похибки, що виникають внаслідок порушень нормального функціонування засобів вимірювальної техніки: додаткових люфтів або тертя, неточності градуйованою шкали, зносу і старіння вузлів та деталей.

2 група – похибки, які виникають через неправильну установку засобів вимірювань.

3 група – похибки, що виникають в результаті дії зовнішнього середовища: високих температур, повітря, магнітних і електричних полів, атмосферного тиску і вологості повітря, вібрації і коливань від рухомого транспорту та ін.

4 група – суб'єктивні похибки, виникають внаслідок індивідуальних фізіологічних, психофізіологічних, антропологічних властивостей людини.

5 група – похибки методу, які з'являються в результаті необґрунтованого методу вимірювань (при різних спрощеннях схем або функціональних залежностей, при відсутності теоретичних обґрунтувань методу вимірювання, недостатній кількості вимірювань тощо).

Систематичні похибки можуть бути постійними або змінними: їх величина може зменшуватися або збільшуватися в процесі проведення експерименту. Для отримання адекватних результатів обов'язково потрібно виключати або, принаймні, враховувати. Відомі випадки, коли через наявність систематичних похибок робилися неправильні наукові висновки з експерименту. Систематичні помилки (похибки) можуть бути усунені нижченаведеними методами.

Часто від систематичних похибок 1-5 груп можна позбутися до початку експерименту шляхом перевірки регулювання або ремонту засобів вимірювання, ретельної перевірки установки засобів вимірювань, усунення небажаних впливів, зовнішнього середовища. Особлива увага повинна бути приділена обґрунтуванню методики вимірювань. Одним з ефективних методів усунення систематичних помилок 1-3 груп є виключення їх в процесі експерименту. Основним принципом цієї операції є повторні вимірювання. При вимірюванні x_i замість досліджуваного об'єкта встановлюють відкалібрований еталон, заздалегідь виміряний з високою точністю. Різниця у вимірах дозволяє знайти похибку вимірювального засобу. Якщо все ж не можна встановити значення систематичних похибок, то обмежуються оцінкою їх границь.

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

Кожен експериментатор, аналізуючи результати вимірювань, повинен вміти правильно оцінити неминуче виникнення випадкових похибок. До випадкових помилок відносяться також промахи або грубі похибки.

Найбільш типовими причинами промахів є помилки при спостереженнях: неправильний відлік за шкалою вимірювальних приладів, описки (помилки) при записі результатів вимірювань, різні маніпуляції з приладами або їх окремими вузлами (перестановка, заміна блоків, перевірка тощо). Грубі похибки виникають внаслідок несправності приладів, а також раптово мінливих умов експерименту. **Аналіз** випадкових похибок ґрунтується на **теорії випадкових величин**. Ця теорія дає можливість з певною долею вірогідності обчислити дійсне значення дослідної величини і оцінити можливі похибки, які визначають дійсне значення шуканої величини.

Розкид показань (однорідність) вимірювання характеризується величиною дисперсії σ^2 і показником варіації (мінливості) K_B :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}; \quad K_B = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (5.10)$$

Чим більше σ і K_B тим більше розкид показників вимірювань. знаючи величини σ і K_B , Можна визначити довірчий інтервал і довірчу ймовірність (надійність) вимірювання.

Довірчим інтервалом $\bar{x} \pm \mu$ ($\mu = \bar{x} - x_i$) називається інтервал значень x_i , в який потрапляє істинне значення x_q вимірюваної величини із заданою вірогідністю. Довірчою ймовірністю (надійністю) вимірювання називається вірогідність $\Phi(t)$ того, що істинне значення x_q вимірюваної величини потрапляє

в даний довірчий інтервал. Ця величина визначається в частках одиниці або у відсотках.

Зазвичай довірчий інтервал визначають за формулою:

$$\mu = \pm t\sigma, \quad (5.11)$$

де t – гарантований коефіцієнт ($0 \leq t \leq 4,0$).

Довірча ймовірність, гарантований коефіцієнт і значення x_i пов'язані між собою співвідношенням:

$$\Phi(t) = \Phi\left(\frac{\mu}{\sigma}\right), \quad (5.12)$$

де функцію $\Phi(t)$ називають інтервалом ймовірностей або інтервалом Лапласа. Чисельні значення інтервалу ймовірності наведені у відповідній літературі.

Величину $1 - \Phi(t)$ називають рівнем значущості. З неї випливає, що при нормальному законі розподілу похибка, що перевищує довірчий інтервал, буде зустрічатися один раз з кількості вимірювань n_H , яке визначається формулою 5.13 :

$$n_H = \frac{\Phi(t)}{1 - \Phi(t)} \quad (5.13)$$

Тобто доводиться відбракувати одне з n_H вимірювань.

Знаючи величини σ і K_B , можна дати характеристику якості вимірювання.

При виконанні вимірювань необхідно знати їх точність m , яку, зазвичай, характеризують величиною σ_0 – середньоарифметичним значенням середньоквадратичного відхилення σ :

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad m = \frac{\sigma_0}{x}. \quad (5.14)$$

Величину σ_0 часто називають середньою помилкою. Довірчий інтервал похибки точності вимірювання m визначається аналогічно, як і для величини вимірювань: $\mu = t\sigma_0$. За величиною t легко визначити довірчу ймовірність (надійність) точності (помилки) вимірювання з таблиці.

У дослідженнях часто за заданою точністю m і довірчої ймовірності (надійності) вимірювання визначають мінімальну кількість вимірювань, що гарантують необхідні величини m і $\Phi(t)$. Для цієї мети у більшості випадків використовують наближену залежність:

$$N_{min} = \frac{\sigma^2 t^2}{\sigma_0^2}. \quad (5.15)$$

У відносних величинах формула (4.15) приймає вид:

$$N_{min} = \frac{K_B^2 t^2}{m^2}, \quad (5.16)$$

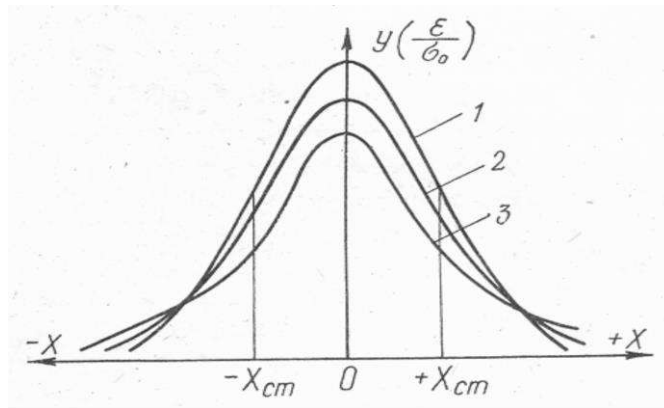
де K_B – коефіцієнт варіації (мінливості), %;

m – точність вимірювань, %.

Для обчислення N_{min} може бути прийнята наступна послідовність:

1. Проводять попередній експеримент з кількістю вимірювань n , що становить в залежності від трудомісткості дослідів від 20 до 50.
2. Обчислюють за формулою (4.14) середньоквадратичне відхилення σ (4.14).
3. У відповідності з поставленими завданнями експерименту встановлюють необхідну точність вимірювань, яка не може бути менше точності приладу.
4. Встановлюють нормоване відхилення μ , величину якого зазвичай задають; вона залежить також від точності методу. Наприклад, при великій точності вимірювань і трудомісткий експерименті можна прийняти $t = 1,0; 2,0$, при малій – $t = 3,0$. Так, вимірюючи вологість ґрунту і матеріалів, можна прийняти $t = 2,0$; щільність, міцність, розміри тіл – $t = 2,5$.

Надалі в процесі експерименту число вимірювань не повинно бути менше N_{min} . Оцінки вимірів за допомогою величини σ і σ_0 за наведеними методами справедливі при великих $n > 30$.



Для знаходження меж довірчого інтервалу при малих значеннях n застосовують метод, запропонований в 1908 р. англійським математиком В.С. Госсетом (псевдонім Стьюдент).

Рівняння розподілу Стьюдента має вигляд:

$$y = \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\sqrt{\pi}\sqrt{\pi-1}\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)\left(1+\frac{x^2}{n-1}\right)^{0.5n}}, \quad (5.17)$$

де $\Gamma(n)$ – гамма-функція.

Як видно з рис. 4.1 криві розподілу Стьюдента при $n \rightarrow \infty$ (практично

Рисунок 5.1 – Криві розподілу Стьюдента для різних значень n :

1 $n \rightarrow \infty$; 2 - $n = 10$; 3 - $n = 2$.

при $n > 20$) переходять в криві нормального розподілу.

Для малої вибірки довірчий інтервал:

$$\mu_{CT} = \sigma_0 a_{CT}, \quad (5.18)$$

де a_{CT} – коефіцієнт Стьюдента, який приймається за таблицею в залежності від значення довірчої ймовірності Φ_{CT} .

Тоді, знаючи μ_{CT} , можна обчислити дійсне значення досліджуваної величини для малої вибірки за формулою:

$$x_{\partial} = \bar{x} \pm \mu_{CT}. \quad (5.19)$$

Можлива інша постановка задачі. За n відомих вимірювань малої вибірки необхідно визначити довірчу ймовірність Φ_{CT} за умови, що похибка середнього значення не вийде за межі $\pm\mu_{CT}$.

Завдання вирішують в такій послідовності. Обчислюють середнє значення \bar{x} , σ_0 і $a_{СТ} = \frac{\mu_{СТ}}{\sigma_0}$. За величиною $a_{СТ}$, відомому n і таблиці визначають довірчу ймовірність.

Контрольні питання:

1. Що таке вимірювання?
2. Визначте поняття «засіб вимірювання».
3. Що таке похибка вимірювання?
4. Назвіть види похибок вимірювання.
5. Що таке робоча перевірка?
6. Від чого залежить обсяг і трудомісткість емпіричних досліджень?
7. Що таке довірчий інтервал і довірна ймовірність?
8. Чим відрізняється розподіл Стюдента від нормального розподілу?
9. Як визначається послідовність обчислення N_{min} ?

ЛЕКЦІЯ 6

ТЕМА 3. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

План

1. Інтерпретація результатів дослідження.
2. Графічне відображення і аналіз результатів вимірювань.
3. Види математичного аналізу експериментальних даних.
4. Моделювання.
5. Теорія подібності.

Література: [1, 5, 6, 10 15, 16, 19, 23-25, 28]

1. Інтерпретація результатів дослідження

В експериментальному дослідженні для підтвердження або спростовування робочої гіпотези основним завданням є знаходження функціонального зв'язку між спостережуваними фактами і явищами, фізичними величинами, що характеризують досліджуване явище чи об'єкт. Інтерпретації результатів дослідження пов'язана з обґрунтуванням наукових припущень (гіпотез). **Інтерпретація** – це сукупність значень (смислів), які приписуються певним чином різним даним, змістовне пояснення числових даних (таблиць, середніх величин, які отримані при проведення експерименту). Отже, інтерпретувати експериментальні дані означає надати певний смисл отриманим у дослідженні результатам. Пошук емпіричних значень, понять називають *емпіричною інтерпретацією*, а визначення цих понять – *операційним визначенням* ознаки. У ході розробки програми наукового дослідження дослідник повинен відокремлювати ключові поняття, які виражають основні точки проблеми, що вивчається. Саме вони і піддаються емпіричній інтерпретації. Це дає змогу не тільки формулювати, а й перевіряти гіпотези на базі емпіричних даних. Отже, інтерпретація загальних понять визначає

емпіричну галузь, яка збігається з предметом дослідження. Подальший аналіз повинен «виявляти» образ предмета, зробити його вираженим, більш чітким і визначеним. Предмет дослідження підлягає системному аналізу. Загалом системному аналізу підлягає об'єкт дослідження, а у процесі розчленовування об'єкта на елементи здійснюється перетворення його в предмет цілеспрямованого дослідження. Результати дослідження після обробки результатів вимірювань і оцінки ступеня їх точності представляють або в табличній формі, або у виді графіків, або в аналітичному виді.

2. Графічне відображення і аналіз результатів вимірювань

Для адекватної інтерпретації результати дослідження піддаються аналізу. При аналізі результатів вимірювань і спостережень на практиці найширше використовуються методи графічного зображення. Графічне зображення, більш наочне і інформативне, дозволяє краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, легко візуально виявити загальний характер функціональної залежності: досліджуваних змінних величин, установити наявність максимуму або мінімуму функції. Графіки експериментальних залежностей дозволяють визначати величину розкиду експериментальних даних, порівняння їх з теоретичними даними.

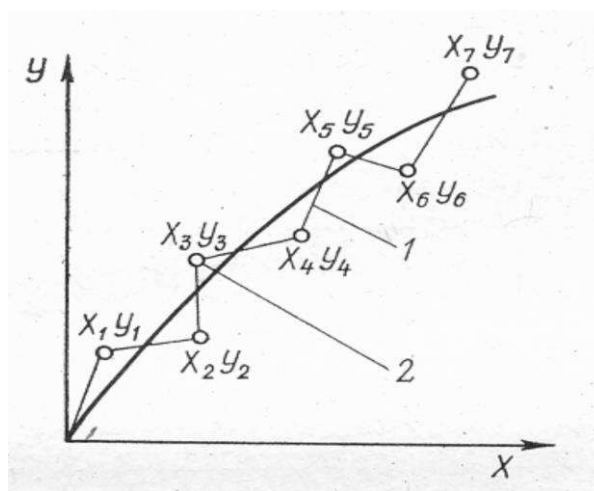


Рисунок 6.1. – Графічне зображення функції $y = f(x)$; 1 – крива за результатами безпосередніх вимірювань; 2 – плавна крива.

Для графічного зображення результатів вимірювань (спостережень), як правило, застосовують систему прямокутних координат. Якщо аналізується графічним методом функція $y = f(x)$, то в системі прямокутних координат наносять значення $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$ (рис. 6.1).

Перш ніж будувати графік, бажано знати хід досліджуваного явища. Як правило, якісні закономірності і форма графіка експериментатору орієнтовно відомі з теоретичних досліджень.

При обробці таких точок на графіку необхідно з'єднувати плавною лінією так, щоб вона по можливості ближче проходила до всіх $E_{\text{хел}}$ експериментальних точок. Якщо з'єднати точки прямими відрізками, то одержимо ламану криву. Вона характеризує зміну функції за даними експерименту. Але зазвичай функції мають плавний характер. Тому при графічному зображенні результатів вимірювань слід проводити між точками плавні криві. Різке викривлення графіка пояснюється похибками вимірювань.

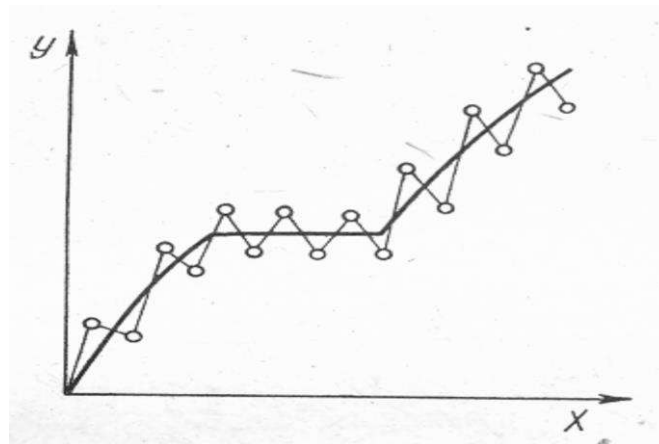


Рисунок 6.2. – Графічне зображення функції $y = f(x)$ при наявності перегинів

Якби експеримент повторили із застосуванням засобів вимірювань вищої точності, то отримали б менші похибки, а ламана крива більше б відповідала плавною кривою.

Однак можуть бути винятки. Так, іноді досліджуються явища, для яких в певних інтервалах спостерігається швидке стрибкоподібне зміна однієї з

координат (рис. 6.2). Це пояснюється сутністю фізико-хімічних процесів, наприклад, фазовий перехід.

У таких випадках необхідно найбільш ретельно з'єднувати точки кривої. Загальне «осереднення» всіх точок плавною кривою може привести до того, що стрибок функції підміняється похибками вимірювань.

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

Часто при графічному зображенні результатів експериментів доводиться мати справу з трьома змінними $b = f(x, y, z)$. У цьому випадку застосовують метод поділу змінних. Однією з величин z в межах інтервалу вимірювань $z_1 - z_n$ задають кілька послідовних значень. Для двох інших змінних x і y (при $z =$

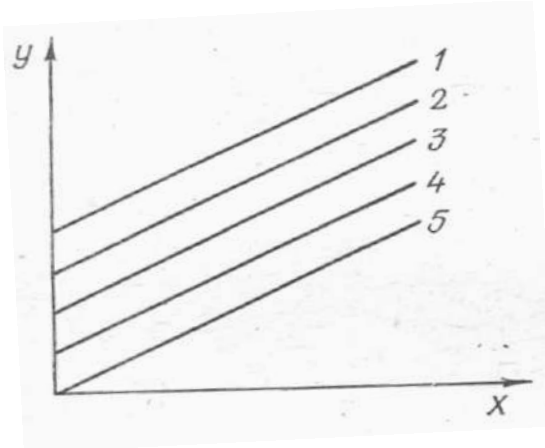


Рисунок 6.3. – Графічне зображення
Функції $b = f(x, y, z)$: 1 – z_5 ; 2 – z_4 ; 3 –
 z_3 ; 4 – z_2 ; 5 – z_1

$const$) будують графіки $y = f_1(x)$. В результаті на одному графіку отримують сімейство кривих $y = f_1(x)$ для різних значень z (рис. 6.3).

Якщо необхідно графічно зобразити функцію з чотирма і більше змінними $a = f(b, x, y, z)$, то будують серію графіків типу попередніх (рис. 6.3), але кожен з

них при $b_1, \dots, b_n = const$, або приймають з N змінних $N - 1$ постійними і будують графіки: спочатку $N - 1 = f_1(x)$, далі $N - 2 = f_2(x)$, $N -$

$z = f_3(x)$ і т.д. Таким чином, можна простежити зміну будь-якої змінної величини b функції від інших при постійних значеннях інших.

Цей метод графічного аналізу вимагає ретельності, великої уваги до результатів вимірювань. Однак він у більшості випадків є простим і наочним.

При графічному зображенні результатів експериментів велику роль відіграє вибір системи координат або координатної сітки. Координатні сітки бувають рівномірними і нерівномірними. У рівномірних координатних сітках ординати і абсциси мають рівномірну шкалу.

З нерівномірних координатних сіток найбільш поширені напівлогарифмічні, логарифмічні, імовірнісні. Напівлогарифмічна сітка має рівномірну ординату і логарифмічну абсцису (рис. 6.4 (а)). Логарифмічна координатна сітка має обидві осі логарифмічні (рис. 6.4 (б)), імовірнісна –

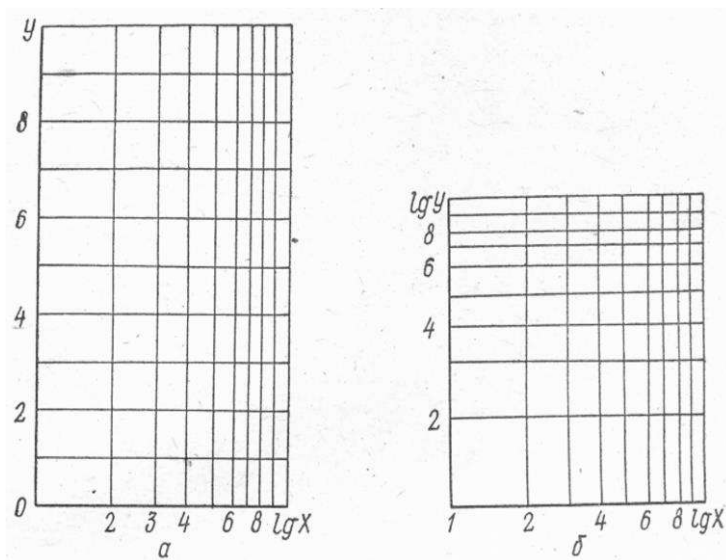


Рисунок 6.4. – Координатна напівлогарифмічна (а) і логарифмічна (б) сітки

ординату, зазвичай, рівномірну і абсцису – вірогідну шкалу (рис. 6.5).

Призначення нерівномірних сіток різне. У більшості випадків їх застосовують для більш наочного зображення функцій $y = f(x)$, які мають різний хід (особливості) у різних частинах досліджуваної величини і форму на різних

сітках. Багато криволінійних функцій спрямляють на логарифмічних або інших нерівномірних сітках. Це може бути більш наочним.

Велике значення в практиці графічного зображення експериментальних даних має імовірнісна сітка, яка застосовується в різних випадках: при обробці вимірювань для оцінки їх точності, при визначенні розрахункових показників

(розрахункової вологості, розрахункових значень модуля пружності ґрунту і гірських порід, міжремонтних термінів служби обладнання, покриттів тощо).

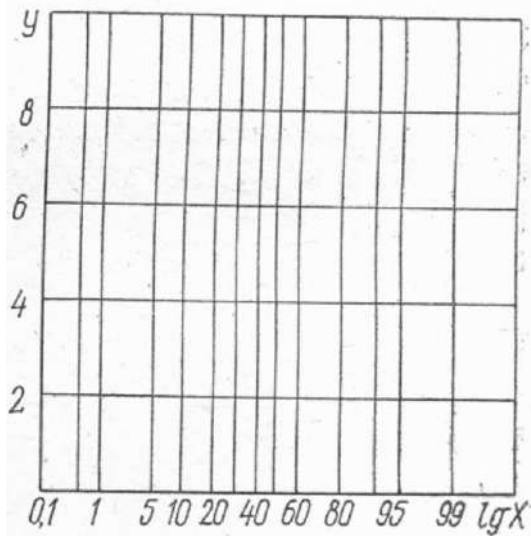


Рисунок 6.5 – Координатна імовірнісна сітка

Іноді в процесі обробки експериментальних даних графічним способом необхідно скласти розрахункові графіки, що прискорюють знаходження по одній змінній інших, при цьому істотно підвищуються вимоги до точності креслення функції на графіку. Викреслюючи розрахункові графіки, необхідно керуватися наступними практичними рекомендаціями. Залежно від числа змінних потрібно вибрати

координатну сітку і визначити вид графіка – одна крива, сімейство кривих або серія сімейств. Великого значення набуває вибір масштабу графіка, що пов'язано з розмірами креслення і відповідно з точністю, з яким мають зніматися з нього значення величин. Відомо, що чим більше масштаб, тим вище точність значень, що знімаються. Однак, як правило, графіки для зручності їх розташування у звіті з НДР, зазвичай, не перевищують розмірів 20×15 см. Лише в окремих випадках використовують графіки більших розмірів.

Досвід показує, що застосовується для креслення графіків міліметровий папір в межах розмірів 15-20 см дає похибку $\pm 0,1 - 0,2$ мм. Це слід мати на увазі при накресленні розрахункових графіків.

Таким чином, абсолютна помилка знімаються з графіків величин та може досягати $\varepsilon = \pm 0,2M$, де M – прийнятий масштаб графіка. Очевидно, що точність вимірювань може бути вище точності з графіка величин, що знімаються.

Масштаб по координатних осях зазвичай застосовують різний. Від вибору його залежить форма графіка – він може бути плоским (вузьким) або витягнутим (широким) уздовж осі (рис. 6.6). Вузькі графіки дають велику похибку по осі y , широкі – по осі x . З рисунка видно, що правильно підібраний масштаб (нормальний графік 3) дозволяє істотно підвищити точність відліків. Звідси впливає найважливіша вимога до побудови графіка функцій. Графік має займати все поле значень величини по обох осях.

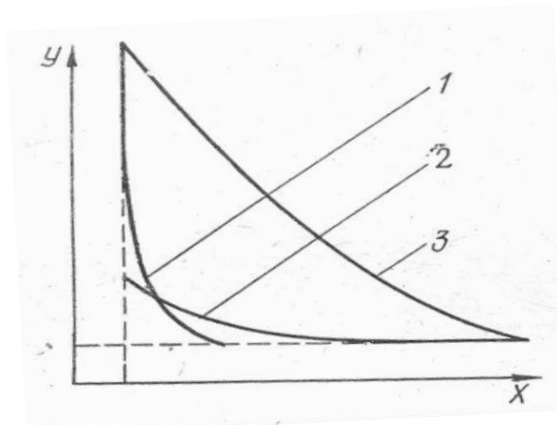


Рисунок 6.6. – Форма графіка в залежності від масштабу:
1 – плоска; 2 – розширена;
3 – нормальна.

Розрахункові графіки, які мають складний вид функції (наприклад, максимум або мінімум), особливо ретельно необхідно викреслювати в зонах вигину. На таких ділянках кількість точок для креслення графіка має бути значно більше, ніж на плавних ділянках.

У деяких випадках будують номограми, використання яких істотно полегшують розрахунки складних теоретичних або емпіричних формул при систематичному застосуванні їх в певних межах вимірювання величин. Номограміувати можна будь-які алгебраїчні вирази. В результаті складні математичні вирази можна виконувати порівняно просто графічними методами. Побудова номограм – трудомістка операція. Однак, будучи раз побудованою, номограма може бути використана для знаходження будь-якої зі змінних, що входять в номограміроване рівняння. Існує кілька методів побудови номограм. Із застосуванням рівномірних або нерівномірних координатних сіток. В системі

прямокутних координат функції в більшості випадків на номограмах мають криволінійну форму. Це збільшує трудомісткість, оскільки потрібна велика кількість точок для нанесення однієї кривої. В напів- або логарифмічних координатних сітках функції можуть мати прямолінійну форму і це спрощує побудову номограм.

Методика побудови номограм функції однієї змінної $y = f(x)$ або багатьох $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ зводиться до побудови кривої, сімейства або серії сімейств шляхом прийняття постійних і знаходження однієї змінної.

Складні алгебраїчні вирази доцільно спрощувати, наприклад: $d = abc$, де a, b, c – функції двох, трьох змінних. В цьому випадку необхідно спочатку, задавшись змінними, обчислити a, b, c , Далі, надаючи їм постійні значення, знайти a . Величини a, b, c необхідно варіювати в певних значеннях, наприклад, від 0 до 100 (у відносних одиницях) через 5 або 10 (також у відносних одиницях).

Найбільш ефективним є такий спосіб побудови номограм, при якому a, b, c представляються як безрозмірні критерії. Застосування комп'ютерної техніки і відповідних програм істотно знижує трудомісткість номограмування.

3. Види математичного аналізу експериментальних даних

Основою спільного аналізу теоретичних і експериментальних досліджень є співставлення висунутої робочої гіпотези з результатами, що отримані шляхом спостережень або дослідними даними. При цьому теоретичні й експериментальні дані порівнюються методом співставлення на відповідних графіках. Критеріями співставлення можуть бути мінімальні, середні й максимальні відхилення експериментальних результатів від даних, що отримані розрахунках на основі теоретичних відомих залежностей.

При дослідженні різноманітних систем і процесів – природних, технічних, екологічних, економічних, соціальних тощо, для обробки і аналізу експериментальних даних найбільш широко застосовуються такі математичні методи: статистичний, дисперсійний, кореляційний і регресійний аналіз.

Про застосування статистичних методів аналізу даних вперше згадується у Книзі чисел. Основи сучасних методів аналізу були закладені Томасом Байєсом (байєсівський підхід, байєсівські оцінки), Даніїлом Бернуллі (застосування нормального розподілу в теорії похибок, перші таблиці нормального розподілу, поділ похибок спостережень на випадкові й систематичні тощо), Карлом Гаусом (метод найменших квадратів); Андрієм Миколайовичем Колмогоровим (статистичні методи контролю за якістю, статистика Колмогорова – Смирнова, узагальнена відстань Колмогорова тощо), Адрієном Марі Лежандром (метод найменших квадратів), Вільфредо Парето (розподіл Парето, діаграма Парето), Френсісом Гальтоном (теорія кореляції), Карлом Пірсоном (теорія кореляції, критерії згоди, метод головних компонент), Чарльзом Спірменом (техніка факторного аналізу, рангова кореляція), Рональдом Фішером (метод максимальної правдоподібності, критерії згоди тощо), О.О. Чупрова, Д.У. Юла та інших дослідників. Останнім часом значного поширення набувають нові технології й методи аналізу даних, зокрема методи інтелектуального аналізу даних (data mining), які використовують для виявлення прихованих закономірностей у великих масивах даних та нейроінформатики, а також методики й засоби статистичного контролю за якістю на виробництві та в управлінні організаціями. Основні процедури аналізу даних найчастіше реалізують за допомогою сучасних комп'ютерних технологій. При цьому дослідники або самі будують розрахункові алгоритми й пишуть відповідні комп'ютерні програми, або використовують наявне програмне забезпечення – електронні таблиці MS Excel, спеціалізовані пакети SPSS, STATISTICA, математичні пакети загального призначення MatLab, MathCad тощо. Проводиться також порівняльний аналіз наявних даних із результатами аналогічних досліджень та статистичною інформацією. Успішність застосування будь-якого методу аналізу даних залежить від відповідності аналізованих даних його вихідним припущенням. Методи, придатні для одного типу даних, можуть призводити до серйозних помилок при їх використанні для даних інших типів.

Дисперсійний аналіз є сукупністю статистичних методів, призначених для перевірки гіпотез про зв'язок між певною ознакою та досліджуваними факторами, які не мають кількісного опису, а також для встановлення ступеня впливу факторів та їх взаємодії. Основна задача дисперсійного аналізу - визначення впливу різних факторів на мінливість ознаки, яка вивчається.

Особливостями дисперсійного аналізу є такі положення:

1. Замість середніх для окремих варіантів досліду обчислюється одна загальна середня арифметична для всього масиву дослідних даних.
2. Замість індивідуальних помилок середніх кожного варіанта досліду обчислюють одну усереднену похибку загальної середньої, яку використовують для оцінки розрізнювання варіантів.

Середню похибку досліду знаходять шляхом розкладання загальної дисперсії всіх даних досліду на складові частини, які характеризують варіювання, яке пов'язане з факторами, які вивчаються в досліді, і варіювання випадкове, яке обумовлене різноманітним випадковим впливом зовнішніх умов на мінливість при знаках і властивостях, які вивчаються. У спеціальній літературі дисперсійний аналіз часто називають ANOVA (від англійської назви Analysis of Variations). Вперше цей метод було розроблено Р. Фішером в 1925 р.

Кореляційний і регресійний аналіз. Якщо необхідно визначити залежність між двома або декількома ознаками і встановити їх взаємний зв'язок використовують кореляційний та регресійний аналіз. Теорія кореляції вивчає взаємозв'язок між величинами, які досліджуються. Діалектичний підхід до вивчення природи і суспільства вимагає розглядати явища у взаємозв'язку і в неперервному змінюванні. Теорія кореляції дозволяє отримати вирази цих взаємозв'язків у математичній, кількісній формі. Найбільш простим видом зв'язку між величинами є функціональна залежність, коли кожному значенню однієї величини відповідає одне конкретно визначене значення другої величини.

При однофакторному дисперсійному аналізі вихідні дані подають у вигляді таблиць, у яких кількість стовпчиків дорівнює кількості рівнів фактору, а кількість значень у кожному стовпчику – кількості спостережень при

відповідному рівні фактору. Для різних рівнів фактору кількість спостережень може бути різною. При цьому виходять з припущення, що результати спостережень для різних рівнів є вибірками з нормально-розподілених сукупностей, середні значення та дисперсії яких є однаковими. Двофакторний дисперсійний аналіз застосовують для пов'язаних нормально-розподілених вибірок. Дані подають у виді таблиць, у стовпчиках якої наводять дані, що відповідають певному рівню першого фактору, а в рядках – дані, що відповідають рівням другого. Основною відмінністю від таблиці однофакторного дисперсійного аналізу є можлива неоднорідність даних у стовпцях, якщо вплив одного з факторів є більш суттєвим. На практиці часто використовують і складніші таблиці двофакторного дисперсійного аналізу, зокрема такі, у яких кожне вічко містить набір даних, що відповідають фіксованим значенням рівнів обох факторів.

Кореляцією (кореляційним зв'язком) між випадковими величинами називають наявність статистичного або ймовірнісного зв'язку між ними. **Кореляційним аналізом** називають сукупність методів виявлення кореляційного зв'язку. Тому його можна застосовувати для формалізованого подання моделей зв'язків між окремими компонентами системи або між окремими процесами, що відбуваються в ній. Наявність кореляційного зв'язку не означає існування причинно-наслідкового зв'язку між досліджуваними ознаками. Вона може бути зумовлена тим, що обидві ознаки мають причинно-наслідковий зв'язок з певним іншим фактором

При дослідженні складних систем часто немає можливості безпосередньо вимірювати величини, що визначають їх властивості. Більше того, нерідко є невідомими кількість та вплив цих факторів. Але можуть вимірюватися інші величини, що залежать від них. Якщо невідомий фактор впливає на декілька вимірюваних ознак, останні виявляють певний зв'язок, наприклад корельованість, між собою. Тому загальна кількість факторів може бути значно меншою, ніж кількість вимірюваних ознак. Для виявлення таких факторів використовують **факторний аналіз**. Зменшення кількості факторів може бути

необхідним також для забезпечення збіжності алгоритмів подальшого аналізу даних, скорочення ресурсів пам'яті ЕОМ та часу, потрібних для їх обробки, бажанням візуалізувати отримані результати тощо. Основні ідеї факторного аналізу було сформульовано Ф. Гальтоном наприкінці ХІХ ст.

Метод головних компонент, або **компонентний аналіз** вперше був запропонований К. Пірсоном у 1901 р., який розглядав задачу найкращої (з погляду мінімізації суми квадратів відхилень) апроксимації сукупності точок прямими та площинами. Потім цей метод був докладно дороблений американським економістом Гарольдом Хотеллінгом у 1933 р. Його важливою позитивною рисою є те, що він є єдиним математично обґрунтованим методом факторного аналізу.

Про **множинну кореляцію** мова йде в тому випадку, коли певна ознака може бути пов'язана не з однією, а, як це частіше буває у реальних умовах, із сукупністю декількох інших ознак. В таких випадках парні показники кореляції будуть давати неправильну інформацію щодо наявності зв'язку між відповідними показниками, оскільки ці їх значення будуть викривлятися невраховуваними ознаками. Для уникнення помилок використовують частині показники кореляції, що усуває такий вплив. Ідея введення таких показників вперше була висунута Г.У. Юлом у 1896 р., а пізніше розвинена ним та К. Пірсоном.

4. Моделювання

Після обробки та аналізу експериментальних даних наступним етапом у перевірці робочої гіпотези є випробування її на моделях.

Модель – штучна система, що відображає з певним ступенем точності основні властивості об'єкту, що вивчається. Модель об'єкту, що вивчається, може замінити його при вивченні і дозволяє одержати інформацію про об'єкт, який вивчається.

Моделі можуть бути фізичні, математичні, натурні. Фізичні моделі дозволяють наочно представляти як протікають в природі процеси. За допомогою фізичних моделей можна вивчати вплив окремих параметрів на перебіг фізичних

процесів. Фізичні моделі застосовуються тоді, коли необхідно розглянути взаємодії одного рівня структурної організації матерії. За допомогою математичного опису процесу в об'єкті і моделі знаходять безрозмірні комплекси змінних, що називають критеріями подібності, величини яких визначають форму і кількісні характеристики рішення відповідного опису. Обираючи співвідношення змінних так, щоб, з одного боку було забезпечено «подібність» об'єкта і моделі, тобто рівність критеріїв для об'єкта і моделі, а з іншого боку – у реалізації моделі створюють фізичну модель і досліджують її експериментально. Потім перераховують отримані результати на умови, об'єкта. Розрізняють геометричні та фізичні критерії подібності:

- геометричні – це розміри об'єкта (довжина, висота, ширина та ін.);
- фізичні – це фізичні властивості матеріалів (густина, в'язкість, швидкість руху частинок в об'єкті).

Математичні моделі дозволяють кількісно досліджувати явища, що важко піддаються вивченню на фізичних моделях.

Натурні моделі являють собою масштабно змінювані об'єкти, що дозволяють найбільш повно досліджувати процеси, що протікають в натурних умовах.

Стандартних рекомендацій по вибору і побудові моделей не існує. Модель повинна відображати істотні явища процесу. Дрібні фактори, зайва деталізація, другорядні явища лише ускладнюють модель, ускладнюють теоретичні дослідження, роблять їх громіздкими, нецілеспрямованими. Тому модель повинна бути оптимальною за своєю складністю, бажано наочною, але головне – досить адекватною, тобто описувати закономірності досліджуваного явища з необхідною точністю. Природно, що при побудові моделі необхідно враховувати особливості досліджуваного явища: лінійність і нелінійність, детермінованість і випадковість, безперервність і дискретність та ін. При побудові моделі властивості і сам об'єкт звичайно спрощують. Чим ближче модель до оригіналу, тим краще вона описує об'єкт, тим ефективніше його

дослідження і тим ближче одержані результати до істинних значень. Для складання моделей різних процесів використовують такі математичні методи:

- аналітичні дослідження (елементарна математика, диференціальні і інтегральні рівняння, варіаційне обчислення та інші розділи вищої математики);
- для вивчення безперервних детермінованих процесів;
- математичного аналізу з використанням експерименту (метод аналогій, теорія подібності, метод розмірностей);
- 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;
- методи системного аналізу (дослідження операцій, теорія масового обслуговування, теорія управління, теорія множин і т. п.);
- для дослідження складних моделей, а саме – систем з багатоводними і складними взаємозв'язками елементів;
- раціональні методи.

У технічних науках широко застосовують прикладну математику, яка використовує так звані раціональні методи, що допускають наявність формулювань і тверджень, що 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, мають широке застосування 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 досягається в тому випадку, коли дослідник процесу добре знає можливості ЕОМ, специфіку методів роботи з ним, а математик-обчислювач, що співпрацює з ним, виразно

уявляє фізичні особливості завдання, яке досліджується. Це дозволяє кваліфіковано обговорювати всі питання, що виникають у процесі дослідження, та сприяють найбільш успішному і ефективному виконанню науково-дослідних робіт.

Для побудови найкращої моделі необхідно не тільки добре знати практичні аспекти досліджуваної задачі, але й мати глибокі і всебічні знання по темі суміжних наук.

В окремих випадках модель досліджуваного явища може бути обмежена лише описом суті. Однак у міру накопичення наукових даних, поступово методи їх вивчення будуть замінюватися математичними. Це закономірно, оскільки наука може досягти найбільшої досконалості лише при широкому використанні математичних методів.

Вивчити і проаналізувати об'єкт найбільш повно можна лише за умови, що його модель представлена описом фізичної сутності і має математичний вигляд. Під «моделлю» розуміється матеріальний або ідеальний об'єкт, що відображує модельований об'єкт як якісно визначене ціле. Кількість і якість зв'язків або взаємодій елементів, що становлять модельований об'єкт, нескінченна. Тому відображення всіх зв'язків об'єкта можливо лише на самому об'єкті. В той же час будь-який матеріальний об'єкт (матеріальна система) складається з елементів – підсистем, що розрізняються рівнями структурної організації матерії (масштабами і закономірностями взаємодій). При цьому внутрішні зв'язки (взаємодії) кожного рівня структурної організації матерії не впливають безпосередньо на взаємодії інших рівнів. Взаємодії кожного такого рівня структурної організації впливають на інші рівні структурної організації узагальнено, або сумарно. Це обумовлює можливість вивчення систем шляхом їх розподілу за рівнями структурної організації матерії та їх відображення за допомогою моделей. Це ж дозволяє при моделюванні враховувати тільки ті взаємодії, які відповідають меті моделювання.

Метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей, широко застосовується у сучасних наукових дослідженнях. Основою моделювання є

положенням про те, що єдність природи виявляється у вражаючій аналогічності диференціальних рівнянь, що відносяться до різних областей явищ.

Моделюванням називають процес побудови моделі. Узагалі процес моделювання можна розподілити на декілька етапів:

1. Постановка задачі (достатньо точно фіксує суттєві властивості оригіналу і знаходження алгоритму, що дозволяє досліджувати модель).
2. Дослідження моделі.
3. Перенесення результатів дослідження моделі на оригінал.
4. Перевірка отриманих результатів та формулювання висновків за проведеними дослідженнями.

Розрізняють *фізичне, математичне і аналогове моделювання*. При **фізичному моделюванні** фізика явищ в об'єкті і 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.

На практиці фізичне моделювання проводять за трьома стадіями:

- 1) лабораторне дослідження;
- 2) дослідження на експериментальних установках;
- 3) масштабування на промислові установки.

При цьому іноді неможливо одночасно забезпечити рівність всіх критеріїв подібності для моделі та об'єкта (критерії виявляються «несумісними») і як наслідок провести фізичне моделювання.

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. 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.

Аналізуючи роботу ґрунтів, гірських порід, матеріалів і конструкцій,

необхідно знати закономірності деформування їх елементів. Залежно від виду і характеру навантаження, властивостей матеріалу елемента можуть бути різні умови деформування. Фізична модель для вивчення цього процесу, яка складається з пружини 1 і поршня 2 в заповненому в'язкою рідиною або газом циліндрі, наведена на рис. 5.7.

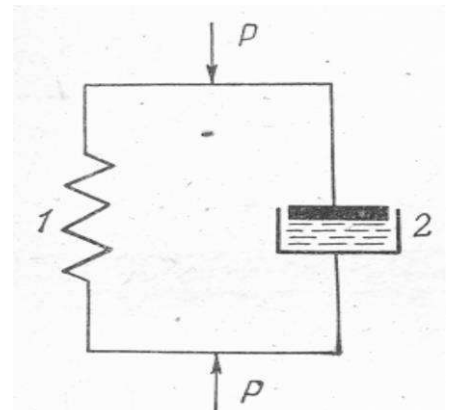


Рисунок 6.7 – Модель деформування пружно-в'язких матеріалів

Пружина 1 моделює пружні властивості об'єкта, які підкоряється закону Гука (величина деформації прямо пропорційна навантаженню P), характерному для твердих пружних тіл. Рух поршня 2 моделює в'язкі властивості об'єкта, коли деформація відбуваються повільно, розвиваючись у часі, і підкоряються закону Ньютона – опір пропорційно швидкості деформування. При паралельному з'єднанні елементів 1 і 2 в єдине ціле маємо модель деформування пружно-в'язкого тіла, яка адекватно моделює реальні об'єкти. Таке деформування підкоряється закону Кельвіна. Математичний опис такої моделі має вид:

$$P = P_y + P_B = E_y S_y + \eta \frac{dS}{dt}, \quad (6.1)$$

де P_y, P_B – сили пружного стиснення пружини і опору в'язкої рідини;

$E_y S_y$ – модуль пружності і відносна деформація пружини;

η – коефіцієнт в'язкості;

$$\frac{dS}{dt} \text{ – швидкість деформування.}$$

Вирішуючи (6.1) при $t = 0, S = 0$, маємо залежність:

$$S = \frac{P}{E_y} \left[1 - \exp\left(-\frac{E_y t}{\eta}\right) \right] \quad (6.2)$$

Залежність в ряді випадків добре узгоджується з експериментом і дозволяє вивчити закони деформування пружно-в'язких матеріалів, (ґрунтів, бетонів, гірських порід тощо).

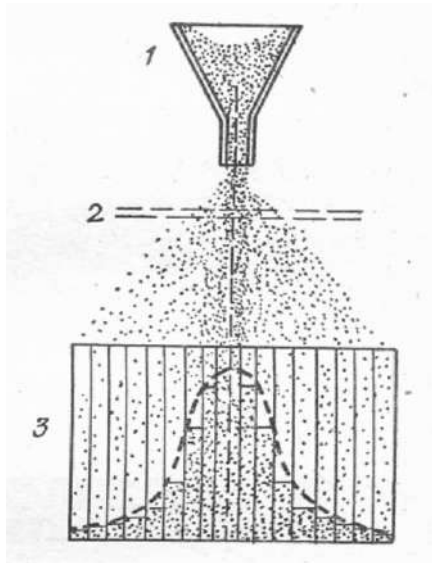


Рисунок 6.8 – Модель ймовірнісного розподілу 1 – воронка; 2 – решето 3 – ящик з секціями

Наведений приклад ілюструє процес пізнання відповідно до формули – від живого споглядання (спостереження за поведінкою матеріалу) до абстрактного мислення (фізична – рис. 6.7 і математична модель рівняння 6.1 та від нього до практики (залежність 6.2)). Розглянута модель відповідає функціональній залежності, коли одному значенню аргументу відповідає тільки одне значення функції. Однак в природі зустрічаються процеси, коли одному значенню аргументу відповідає кілька значень функції внаслідок дії на явище різних

факторів.

Фізична модель, що характеризує закон ймовірнісного розподілу піску, який висипається з лійки через решето в ящик з вертикальними секціями, наведена на рис. 6.8.

Спостереження показують, що розподіл піску в ящику підкоряється закону нормального розподілу Гауса:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (6.3)$$

де y – ордината, частота розподілу піску;

x – абсциса, номер секції в ящику, відлічуваної від середини;

σ – середньоквадратичне відхилення.

Вираз (6.3) є математичною моделлю імовірнісного процесу фізичної моделі, наведеного на рис. 6.8.

Останнім часом широкого поширення набули моделі, що забезпечують оптимізацію технологічних процесів і їх управління. У зв'язку з цим, розглянемо так звану транспортну задачу. Нехай є A_1, A_2, A_3 об'єкти будівництва, які споживають відповідно a_1, a_2, a_3 щебню (рис. 6.9). У місцях B_1 і B_2 є притрасові кар'єри з запасами щебню b_1 і b_2 . При цьому $a_1 + a_2 + a_3 = b_1 + b_2$. Вартість одиниці продукції з кар'єру B_1 на об'єкті A_1 дорівнює C_{11} , на об'єкті A_2 – C_{12} , на об'єкті A_3 – C_{13} .

Загальна кількість щебню x_{ij} , що транспортується на об'єкт A_i з кар'єру B_j дорівнює:

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{21} &= a_1; \\ x_{12} + x_{22} &= a_2; \\ x_{13} + x_{23} &= a_3; \\ x_{11} + x_{12} + x_{13} &= b_1; \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} &= b_2. \end{aligned} \quad (6.4)$$

В системі (5.4) перше рівняння означає кількість щебню, що транспортується на об'єкт A_1 з кар'єрів B_1 і B_2 ; друге – на об'єкт A_2 . Останнє рівняння – кількість щебню, що доставляється на об'єкти A_1, A_2, A_3 з кар'єру B_2 . Вихідні дані для розрахунку зведені в матрицю (табл. 6.1).

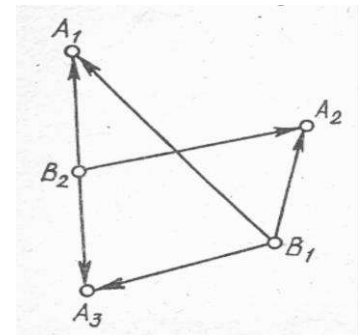


Рисунок 6.9 – Схема транспортних зв'язків: A_i – об'єкти, що будуються; B_i – кар'єри.

Кар'єри	Об'єкти			Запаси
	A1	A2	A3	
B1	C11 x11	C12 x12	C13 x13	b1
B2	C21 x21	C22 x22	C23 x23	b2
Загальна потреба	a1	a2	a3	

Потрібно визначити найбільш вигідний (економічний варіант перевезення щебню).

В цьому випадку чисельними методами за допомогою лінійного програмування та ЕОМ знаходять функцію, яка задовольняє умові:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij} = \min \quad (6.5)$$

Рівняння (6.5) є математичною моделлю, яка дозволяє оптимізувати транспортний процес.

Останнім часом великий інтерес викликала кібернетична модель «чорного ящика» (рис. 6.10), що описує систему, структура якої невідома і

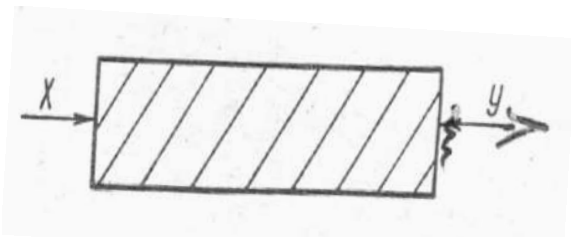


Рисунок 6.10 – Модель «чорного ящика»

недоступна для спостереження. Відомі лише «X» (вхід) і «Y» (результат). Завдання зводиться до підбору таких значень X, які забезпечили б відповідні (в більшості випадків) оптимальні значення Y. Статистичним шляхом знаходять моделі досліджуваного процесу. У багатьох

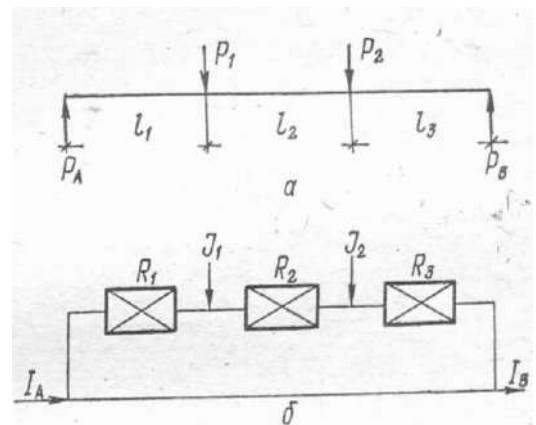


Рисунок 6.11 – Схема балки на опорах (а) і її електрична модель-аналог (б): P_1, P_2 - навантаження; P_A, P_B - реакції; R_1, R_2, R_3 - електричні опори; J_1, J_2 - сила струму, що моделює навантаження P_1 і P_2

випадках для побудови таких моделей доцільно використовувати метод математичного планування експерименту.

Електрична модель-аналог для вивчення напружено-деформованого стану балки на двох опорах наведена на рис. 6.11. Реакції на опорах балки обчислюються за формулами:

$$P_A = \frac{P_1(l_2 + l_3) + P_2l_3}{l_1 + l_2 + l_3}, \quad (6.6)$$

$$P_B = \frac{P_1l_1 + P_2(l_2 + l_1)}{l_1 + l_2 + l_3}. \quad (6.7)$$

Силу струму на вході і виході електричного кола обчислюють аналогічно:

$$J_A = \frac{J_1(R_2 + R_3) + J_2R_3}{R_1 + R_2 + R_3}, \quad (6.8)$$

$$J_B = \frac{J_1R_1 + J_2(R_2 + R_1)}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (6.9)$$

Таким чином, змінюючи силу струму J_1 , J_2 – і опір R_1 , можна вивчати реакцію опор балки в залежності від величини P_1 і P_2 .

5. Теорія подібності

Моделі подібності використовують давно. Наприклад, немає необхідності теоретично обчислювати або безпосередньо висоти H гори або висотної будівлі. Для цієї мети досить використовувати найпростішу модель – трикутник і за допомогою теореми про подібність трикутників шляхом вимірювання відстані до об'єкта висоти, якого необхідно виміряти:

$$H = h * Kp, \quad (6.10)$$

де Kp – критерій подібності, рівний $Kp = Z:L$ (L – відповідна сторона трикутника).

Аналогічний прийом широко використовують і при дослідженні інших процесів, але критерій подібності та рівняння в цьому випадку значно складніше.

Суть теорії подібності ілюструє наступний приклад. Нехай є ряд прямокутників. Це клас плоских фігур, оскільки вони об'єднані загальними властивостями – мають по чотири сторони і чотири прямих кута. З цього класу можна виділити тільки єдиний об'єкт, який має конкретні значення сторін l_1 і l_2 . Чисельні значення l_1 і l_2 визначають умови однозначності. Якщо їх помножити на величину K_e , якій можна надати будь-яке значення, то отримаємо серію подібних плоских фігур, що об'єднуються в певну групу:

$$\frac{l_1'}{l_2'} = \frac{l_1''}{l_2''} = \frac{l_1'''}{l_2'''} \dots = K_e. \quad (6.11)$$

Величини K_e називають критеріями подібності.

Такий спосіб приведення подібності можна застосувати для різних фізичних величин:

- часу: $K_t = \frac{T''}{T'}$;
- тиску: $K_p = \frac{p''}{p'}$;
- в'язкості: $K_\mu = \frac{\mu''}{\mu'}$;
- температуропровідності: $K_a = \frac{a''}{a'}$ тощо.

Критерії подібності створюють всередині даного класу явищ групи шляхом перетворення умов однозначності в подібні системи. Всі явища, що входять в одну групу, подібні і відрізняються тільки масштабами. Таким чином, будь-яке диференціальне рівняння з граничними умовами і критерієм подібності описує всю групу подібних явищ. Якщо граничні умови представлені без критерію подібності, то диференціальне рівняння можна застосувати для аналізу лише окремого випадку.

Теорія подібності базується на трьох теоремах:

Теорема 1. Два фізичні явища подібні, якщо вони описуються однією і тією ж системою диференціальних рівнянь і мають подібні (граничні) умови однозначності, а їх критерії подібності, що їх визначають – чисельно рівні.

Теорема 2. Якщо фізичні процеси подібні, то критерії подібності цих процесів рівні між собою.

Теорема 3. Рівняння, що описують фізичні процеси, можуть бути виражені диференціальним зв'язком між критеріями подібності.

На групу подібних між собою явищ, що відрізняються тільки масштабом, можна поширювати результати одиничного експерименту. При використанні теорії подібності зручно оперувати критеріями подібності, які позначаються двома латинськими буквами прізвищ вчених. Розглянемо деякі критерії подібності, які вживаються найчастіше.

Вивчаючи потоки рідин, застосовують критерій Рейнольдса, який є показником ставлення сил інерції до сил тертя:

$$Re = \frac{\omega l}{\nu}, \quad (6.12)$$

де ν – динамічна в'язкість;

ω – характеристична швидкість руху потоку;

l – характеристичні розміри (довжина, товщина або діаметр трубопроводу).

Критерій Ейлера:

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \omega}, \quad (6.13)$$

де ΔP – перепад тиску при русі рідини в трубопроводі внаслідок тертя;

ρ – щільність рідини.

У тепломасопереносі застосовують різні критерії.

Критерій Фур'є характеризує швидкість вирівнювання тепла в даному тілі:

$$Fo = \frac{a\tau}{l^2}, \quad (6.14)$$

Де a – критерій температуро- або вологопровідності;

τ – час;

l – характерний розмір тіла (довжина, радіус).

Критерій Ликова характеризує інтенсивність зміни масопереносу (вологи, пари):

$$Lu = \frac{a_1}{a}, \quad (6.15)$$

де a_1, a – коефіцієнти тепло- і масопереносу.

Всі наведені, а також інші, критерії мають безрозмірний вид. Вони незалежні один від одного, тому їх поєднання дає нові критерії.

При дослідженні явищ і процесів зручно використовувати критерії подібності. Експериментальні дані обробляють у вигляді узагальнених безрозмірних змінних і складають рівняння в критеріальній формі, тобто в диференціальні рівняння замість змінних l, a, τ, ρ, p і т.д. ставлять критерії подібності. Далі приступають до вирішення теоретичного рівняння в критеріальному вигляді. Отримане аналітичне рішення дозволяє поширити результати одиничного експерименту на групу подібних явищ і аналізувати змінні величини за межами виконаного експерименту.

Критерії подібності застосовуються для вирішення диференціальних рівнянь з багатьма змінними. У цьому випадку рівняння і граничні умови доцільно представляти в критеріальному безрозмірному вигляді, хоча це іноді і нелегко. Рішення рівнянь в безрозмірному виді менш трудомістке, оскільки число змінних зменшується, аналітичний вираз спрощується, а обсяг розрахунків істотно знижується. Все це спрощує складання графіків і номограм. Тому вміння складати диференціальні рівняння в критеріальному вигляді, вирішувати їх і аналізувати необхідне для кожного наукового працівника.

У ряді випадків зустрічаються процеси, які не можуть бути безпосередньо описані диференціальними рівняннями. Залежність між змінними величинами в таких процесах, в кінцевому рахунку, можна встановити лише експериментально. Щоб обмежити експеримент і відшукати зв'язок між основними характеристиками процесу, ефективно застосовувати **метод аналізу розмірностей**, який поєднує теоретичні дослідження з експериментами і дозволяє скласти функціональні залежності в критеріальному вигляді. Розглянемо його застосування.

Нехай функція для будь-якого процесу $F = f(n_1, n_2, \dots, n_k)$ містить m невідомих постійних або змінних розмірних величин, які мають певну розмірність одиниць вимірів. Необхідно відшукати F і знайти її залежність від основних змінних.

Метод розмірностей передбачає вибір з числа m трьох основних незалежних однієї від одної одиниць вимірів. Решта $m - 3$ величини, що входять у функціональну залежність, повинні мати розмірності, виражені через три основні. При цьому основні величини вибирають так, щоб інші $m - 3$ були представлені у функції F як безрозмірні.

При цьому функція набуває наступного виду:

$$\frac{F}{a^x b^y c^z} = f\left(1, 1, 1, \frac{A}{a^{x_1} b^{y_1} c^{z_1}}, \frac{B}{a^{x_2} b^{y_2} c^{z_2}}, \frac{C}{a^{x_3} b^{y_3} c^{z_3}}\right) \quad (6.16)$$

Три одиниці означають, що перші три числа є відношенням n_1, n_2, n_3 до відповідно рівним значенням a, b, c .

Вираз (6.17) аналізують по розмірностях величин. В результаті встановлюють чисельні значення показників ступеня $x, \dots, x_3, y, \dots, y_3, z, \dots, z_3$ як один з критеріїв подібності. Наприклад, при обтіканні опори моста водою зі швидкістю V (м/с) на поверхню площею S (м²) діє сила F_0 (кгм/с²).

Тоді функціональну залежність можна записати так:

$$F_0 = f\left(V, S, \rho, \mu, q, p, \frac{l}{B}\right), \quad (6.17)$$

де ρ (кг/м³) – щільність води,

$\frac{l}{B}$ – відношення висоти до ширини опори моста; ця величина безрозмірна, інші шість змінних мають розмірність.

Змінні розмірні величини μ, q, p , як і V, S, ρ , підлягають вивченню за умови, що функція F_0 , буде представлена в критеріальному вигляді.

При використанні методу аналізу розмірностей можливі лише три безрозмірні величини. Стосовно до (6.17) напишемо:

$$\frac{F_0}{V^x S^y \rho^z} = f\left(1, 1, 1, \frac{\mu}{V^x S^y \rho^z}, \frac{q}{V^x S^y \rho^z}, \frac{p}{V^x S^y \rho^z}, \frac{l}{B}\right). \quad (6.18)$$

В якості основних розмірностей приймаємо м/с, м², кг/м³ для фізичних величин V, S, ρ відповідно. При цьому $[F] = [V^x, S^y, \rho^z]$ або кгм/с² = (м/с)^x * (м²)^y * (кг/м³)^z.

З цього виразу знаходимо показники ступенів, приймаючи чисельник зі знаком «+», знаменник – зі знаком «-»: показник кгм – (1 = Z); показник м – -(1 = x + 2y - 3z); показник с – (-2 = -x).

Звідси маємо $x = 2, y = 1, z = 1$.

Таким же чином отримуємо значення інших показників:

$$\begin{aligned} x_1 &= 1; y_1 = 0.5; z_1 = 1; \\ x_2 &= 2; y_2 = -0.5; z_2 = 0; \\ x_3 &= 2; y_3 = 0; z_3 = 1. \end{aligned} \quad (6.19)$$

Звідки отримуємо:

$$n = \frac{F}{V^2 S \rho}; n_4 = \frac{\mu}{V \rho \sqrt{S}}; n_5 = \frac{q \sqrt{S}}{V^2}; n_6 = \frac{p}{\rho V^2}, \quad (6.20)$$

де μ – в'язкість води;

q – прискорення вільного падіння;

p – тиск.

Вирази n_4 і n_6 є критеріями подібності Рейнольдса і Ейлера, а n_5 – критерій Фруда Fr .

В результаті досліджувана функція приймає вид:

$$\frac{F}{V^2 S \rho} = f \left(Re, Fr, Eu, \frac{l}{B} \right). \quad (6.21)$$

Ця формула дозволяє дослідити процес обтікання опори моста в різних варіантах розмірів l , B , швидкостей V за умови рівності критеріїв подібності. Її можна також використовувати для аналізу процесу методом теорії подібності на моделях.

Контрольні питання:

1. Що таке інтерпретація?
2. Визначте поняття «моделювання».
3. Що таке номограма?
4. Назвіть види моделювання.
5. Що таке метод аналізу розмірностей?
6. Назвіть види математичного аналізу експериментальних даних.
7. Назвіть види відображення експериментальних даних.
8. Назвіть найбільш вживані критерії подібності.
9. Як існують види координатних сіток?

ЛЕКЦІЯ 7

ТЕМА 3. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

План

1. Генеральна і вибіркова сукупність вимірювань.
2. Правило 3σ .
3. Q -критерій.
4. Метод Пірсона-Смірнова.
5. Критерій Ф. Граббса.
6. β -критерій.

Література: [3, 5, 6, 10 16, 19, 21]

1. Генеральна і вибіркова сукупність вимірювань

У результаті проведеного експерименту дослідник за допомогою вимірювальних приладів або пристроїв отримує, як правило, великий обсяг інформації. Всю цю інформацію належить старанно обробити для коректної інтерпретації, її обґрунтування та формулювання адекватних висновків. Стосовно порядку та способів інтерпретації, обґрунтування й формулювання висновків загальних, усталених, стандартних процедур немає. Досить часто для цього застосовується **описова статистика** – набір основних статистичних показників емпіричної вибірки значень кількісної ознаки. Стандартні методи їх розрахунку, як правило, розроблені, виходячи із припущення, що розподіл отриманих даних є нормальним. Причиною застосування цього методу є наявність зручного математичного апарату для обробки відповідних даних. Не меншу роль у звичайно широкому застосуванні методів, призначених для аналізу нормально розподілених даних, відіграє необґрунтоване припущення, що майже всі випадкові дані підпорядковуються нормальному закону розподілу.

Основні процедури аналізу даних найчастіше реалізують за допомогою сучасних комп'ютерних технологій. При цьому дослідники або самі будують розрахункові алгоритми й пишуть відповідні комп'ютерні програми, або використовують наявне програмне забезпечення – електронні таблиці MS Excel, спеціалізовані пакети SPSS, STATISTICA, математичні пакети загального призначення MatLab, MathCad тощо. Але навіть при застосуванні спеціалізованих пакетів досліднику необхідно володіти теоретичними основами математичних методів аналізу даних, оскільки зазвичай це передбачає необхідність вибору оптимальних алгоритмів та певних параметрів їх реалізації, іноді з декількох сотень можливих варіантів. Часто вихідні значення факторів вимірюють у кількісних або порядкових шкалах. Тоді постає проблема групування вихідних даних у ряди спостережень, що відповідають приблизно однаковим значенням фактору. Якщо кількість груп взяти надмірно великою, то кількість спостережень у них може виявитися недостатньою для отримання надійних результатів. Якщо її взяти надмірно малою, це може призвести до втрати суттєвих особливостей впливу досліджуваного фактору на систему. Вибір конкретного способу групування даних залежить від їх обсягу і характеру варіювання значень фактору.

Розрізняють генеральну і вибірку сукупність вимірювань. Під генеральною сукупністю вимірювань мають на увазі всю безліч можливих значень вимірів x_i або можливих значень похибок Δx_i . Для вибіркової сукупності вимірювань величина n обмежена, і в кожному конкретному випадку строго визначається. Зазвичай вважають, що якщо $n > 30$, то середнє значення даної сукупності вимірювань \bar{x} наближається до його істинного значення.

Теорія випадкових похибок дозволяє вирішити два завдання: оцінити точність і надійність вимірювання при даній кількості вимірів, визначити мінімальну кількість замірів, яке гарантуватиме необхідну (задану) точність і надійність вимірювання.

2. Правило 3σ

При аналізі експерименту необхідно після виключення або врахування систематичних похибок виключити грубі помилки або промахи – відліки, які різко відхиляються від більшості інших результатів вимірювань. Формальною ознакою промаху є відхилення значень від центру вибірки. Поява таких помилок цілком ймовірна, а наявність їх відчутно впливає на результат вимірювань. Так, вже одна груба помилка в 20 вимірах значно спотворює експериментальні дані. Однак перш ніж виключити те чи інше значення з вибором, потрібно переконатися, що це дійсно груба помилка, а не відхилення внаслідок статистичного розкиду.

Якщо є можливість перевірити підозрілі точки, то це треба зробити обов'язково. Що робити якщо перевірити не можна?

Існує багато способів визначення того, що даний вимір є грубою помилкою і застосування того чи іншого способу залежить від обсягу вибірки та її якості, а також уподобань та компетенції дослідника.

Найпростіше – це відкинути значення, величина яких різко відрізняється від інших значень. Наприклад 3,81; 4,12; 4,05; 3,71; 8,43. У цьому випадку це можна зробити (значення 8,43), а в разі 267,3; 267,1; 267,0; 268,8 цього зробити не можна (значення 268,8), тому що невідомо чи входить це значення в довірчий інтервал.

Спосіб цензурування вибірок – найпростіший; він полягає в простому відкиданні крайніх, сильно віддалених від центру вибірки значень. Для визначення меж цензурування зазвичай використовується правило 3σ , коли по всій вибірці знаходиться значення σ і межа цензурування приймається 3σ і всі значення a_i , які виходять за цю межу визнаються промахами і відкидаються. За тим по цій скороченій вибірці знову знаходяться σ , яке бере участь у подальших розрахунках.

Вважаючи, що 0,3% це мало ймовірна величина відхилення і навіть якщо воно входить в статистичний ряд, видалення його не спричинить істотного погіршення результатів вимірювань. Але це правило діє тільки для прямих

вимірювань і не надто великого n (за умови $n = 10 P_0$, що хоч одне значення буде відрізнятися на 35 буде вже 3%, а при $n = 100 - 30\%$)

Деякі дослідники вважають, що правило 3σ занадто «жорстке» і пропонують межу вибірки визначати в залежності від обсягу:

$$\begin{aligned} \text{при } 6 < n \leq 100 |X_{ip}| &= 4\sigma \\ \text{при } 100 < n \leq 1000 |X_{ip}| &= 4.5\sigma \\ \text{при } 1000 < n \leq 10000 |X_{ip}| &= 5\sigma \end{aligned} \quad (7.1)$$

Справді $|X_{ip}|$, залежить не тільки від обсягу вибірки, а й від розподілу. Але його можна встановити за досить великим обсягом вибірки, що в технічних науках малоймовірно.

Для рівномірного розподілу промахом буде вже 1.8σ , а для розподілу Лапласа тільки 0,3% вимірів лежить за межами 3σ .

Для визначення форми розподілу найпростіше побудувати гістограму, що складається зі стовпців з певною протяжністю d відповідних їм інтервалів.

Загально прийнято робити ці інтервали однаковими. Скільки їх робити? На це питання однозначної відповіді немає. Якщо їх зробити занадто багато, деякі будуть порожніми або слабо заповненими і гістограма буде відрізнятися від плавної кривої, маючи багато сплесків і провалів; якщо мало m , гістограма буде відрізнятися від реального розподілу, тому що будуть втрачені особливості. Вважається, що для кожної вибірки існує оптимальна кількість поділів. Скільки? У різних джерелах наведено різне їх число:

- 1) від 6 до 20.
 - 2) 12 ± 3
 - 3) $3,3 \lg n + 1$
 - 4) $5 \lg n$
 - 5) \sqrt{n} і т.д.
- (7.2)

Одним з практичних ознак наближення до оптимуму є зникнення провалів і оптимальним може вважатися найбільше m , при якому гістограма має плавний характер.

Правило 3σ доцільно застосовувати для розподілів похибок, які мають експонентний характер (більше 50% всіх розподілів похибок мають такий характер):

$$\rho(x) = A_{exp}(-[\gamma/\lambda\sigma]^a) \quad (7.3)$$

Вирішуючи це рівняння підстановкою експериментальних даних в подвійному логарифмічному масштабі отримаємо відповідь на питання наскільки розподіл близький до експонентного і можливість оцінки розкиду результатів вимірювань. Якщо розкид результатів вимірювань дуже великий, то підбираються інші формули та застосовуються інші критерії.

3. Q-критерій

Цей критерій зазвичай застосовується для не великих вибірок ($n \leq 8$).

Розглянемо його застосування на наступному прикладі

1. В результаті вимірювань отримано наступні значення: $a_i = 1.2356; 1.2345; 1,2348$. Результат метрологічної перевірки засобів вимірювання показав, що вони мають постійну систематичну похибку $\Delta_{сист} = -0,0003$.

2. Знайдемо значення виправлених результатів; з урахуванням системи похибки:

$$a_i = a_i' - \Delta_{сист} \quad (7.4)$$

Тоді оновлений ряд буде мати вид: $a_i = 1.2359; 1.2348; 1,2351$.

3. Проведемо пошук грубих помилок (промахів); так як ми маємо $n = 3$ ($n < 8$), то використовуємо Q-критерій. Для цього розташуємо значення у новому ряду зі зростаючими величинами $a_i = 1.2348; 1,2351; 1.2359$.

4. Перевіримо на промахи крайні члени нового ряду. Для цього визначимо відповідні до них значення Q_1 та Q_3 за формулою:

$$Q_{max} = \frac{|a_i - a_{n-1}|}{|a_i - a_n|} \quad (7.5)$$

$$Q_1 = \frac{|1.2359 - 1.2351|}{|1.2348 - 1.2359|} = 0.27273 = 0.27$$

$$Q_{min} = \frac{|a_n - a_{n-1}|}{|a_i - a_n|} \quad (7.6)$$

$$Q_3 = \frac{|1.2348 - 1.2351|}{|1.2348 - 1.2359|} = 0.72727 = 0.73$$

5. Знаходимо за таблицею 7.1 значення Q -критерію:

Таблиця 7.1 – Значення Q -критерію

Об'єм вибірки	Значення критерію для довірчої вибірки [P]		
	0.90	0.95	0.99
3	0.89	0.94	0.99
4	0.68	0.77	0.89
5	0.56	0.64	0.76
6	0.48	0.56	0.70
7	0.45	0.51	0.68
8	0.40	0.48	0.64

Для $n = 3$ і $P = 0.95$ – $Q_T = 0,94$; в обох випадках $Q_T(0,94) > Q_1$; Q_3 вимірювання не є грубою помилкою, тобто їх потрібно залишити в вибірці.

Виходячи з того, що для вибірок з $n < 10$ не рекомендується перевіряти їх належність до законів розподілу, зробимо припущення, що вони належать до нормального закону розподілу тоді:

6. Визначимо середнє арифметичне значення:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = 1.2353$$

7. Середню похибку:

$$\Delta \bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\bar{a} - a_i|$$

8. Визначимо дисперсію:

$$D = \frac{\sum \Delta a_i^2}{n - 1} = 3.2500 * 10^{-7}$$

9. Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{D} = 5.7009 * 10^{-4}$$

4. Метод Пірсона-Смірнова

Якщо вибірка не велика ($N < 20$), то часто використовується метод максимального відносного відхилення:

I спосіб: Знаходиться

$$T = \frac{(a_i - \bar{a})}{\sigma}, \quad (7.7)$$

де a_i – найбільший (або найменший) член вибірки; якщо $T \leq T_{\text{табл}}$ то результат залишається; якщо $T \geq T_{\text{табл}}$ то результат вимірювання видаляється та проводиться перерахунок для зміненої вибірки.

II спосіб. За таблицею Стьюдента визначається:

$$T' = \frac{(a_i - \bar{a})}{\sqrt{\frac{n-1}{n}} \sigma} \quad (7.8)$$

При $T' > T_{\text{табл}}$ – то результат видаляється.

$T_{\text{табл}}$ береться для діапазону $P_d = 0,9 - 0,999$. При діапазонах:

- $T' \leq T_{\text{табл}}^{0,95}$ – залишаємо.
- $T_{\text{табл}}^{0,95} \leq T' \leq T_{\text{табл}}^{0,999}$ – можна видалити за потреби.
- $T' > T_{\text{табл}}^{0,999}$ – завжди видаляється.

Розподіл та критичні точки величини T_{max} , що отримані К. Пірсоном та Н. Смірновим, наведені в таблиці 7.2.

Розглянемо його застосування.

Маємо ряд із $N = 10$ результатів, який після упорядкування за зростаючою величиною буде мати вигляд: 11;12; 12; 12; 13; 13; 14; 14; 15; 18.

Таблиця 7.2 – Розподіл та критичні точки величини T_{max}

Кількість дослідів N	Рівень значимості $\alpha = 0,10$	Рівень значимості $\alpha = 0,05$	Рівень значимості $\alpha = 0,025$	Кількість дослідів A	Рівень значимості $\alpha = 0,10$	Рівень значимості $\alpha = 0,05$	Рівень значимості $\alpha = 0,025$
3	1.406	1.412	1,414	14	2.297	2,461	2.602
4	1.645	1.689	1.710	15	2.326	2,493	2.638
5	1.791	1.869	1.917	16	2.354	2.523	2.670
6	1.894	1.996	2.067	17	2.380	2,551	2.701
7	1.974	2.093	2.182	18	2.404	2.577	2.728
8	2.041	2,172	2.273	19	2.426	2.600	2,754
9	2.097	2.237	2.349	20	2.447	2.623	2,778
10	2.146	2,294	2.414	21	2.467	2.644	2.801
11	2.190	2.343	2.470	22	2.486	2.664	2.823
12	2.229	2.387	2.519	23	2.504	2.683	2.843
13	2.264	2.426	2.562	24	2.520	2.701	2.862
				25	2.537	2.717	2.880

Видно, що 10-й результат $a_{max} = 18$. Виникає сумнів чи є підстави для його вилучення з подальшої обробки?

Для наведених даних: $\bar{a} = 13,4$, $\sigma = 1,91$. Тоді значення:

$$T_{max} = \frac{18 - 13,4}{1,91} = 2,41$$

Якщо задатися рівнем значимості $\alpha = 0,05$, з табл. 7.2 для $N = 10$ знаходимо $T_{кр(\alpha)} = 2,294$. Розраховане значення $T_{max} = 2,41$ і воно буде більше $T_{кр(\alpha)}$. Це означає, що гіпотеза про однорідність отриманих результатів відкидається і $a_{10} = 18$ слід вилучити з подальшої обробки.

У випадку, коли виникає підозра щодо мінімального результату, то для перевірки гіпотези про однорідність необхідно скористатися величиною:

$$T = \frac{(\bar{a} - a_{min})}{\sigma} \quad (7.9)$$

У подальшому процедура перевірки відрізняється лише тим, що з $T_{кр(\alpha)}$ порівнюється T_{min} .

5. Критерій Ф. Граббса

Для визначення промахів у цьому способі використовуються величина:

$$G_n = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (a_i - \bar{a}')^2}{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2} \quad (7.10)$$

де:
$$\bar{a}' = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} a_i \quad (7.11)$$

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (7.12)$$

В таблиці 7.3 наведені критичні значення $G_{кр(a)}$ для різних рівнів значимості a . Гіпотеза про однорідність отриманих результатів відкидається і максимальне та мінімальне значення виключається з подальшої обробки, якщо G_n або G_1 менше критичного значення, заданого в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Критичні значення $G_{кр(a)}$ для різних рівнів значимості a

Кількість дослідів N	Рівень значимості $a = 0,10$	Рівень значимості $a = 0,05$	Рівень значимості $a = 0,025$	Кількість дослідів A	Рівень значимості $a = 0,10$	Рівень значимості $a = 0,05$	Рівень значимості $a = 0,025$
3	0,0109	0,0027	0,0007	14	0,5942	0,5340	0,4792
4	0,0975	0,0494	0,0248	15	0,6134	0,5559	0,5030
5	0,1984	0,1270	0,0808	16	0,6306	0,5755	0,5246
6	0,2826	0,2032	0,1453	17	0,6461	0,5933	0,5442
7	0,3503	0,2696	0,2066	18	0,6601	0,6095	0,5621
8	0,4050	0,3261	0,2616	19	0,6730	0,6243	0,5785
9	0,4502	0,3742	0,3101	20	0,6848	0,6379	0,5937
10	0,4881	0,4154	0,3526	21	0,6958	0,6504	0,6076
11	0,5204	0,4511	0,3901	22	0,7058	0,6621	0,6206
12	0,5483	0,4822	0,4232	23	0,7151	0,6728	0,6327
13	0,5727	0,5097	0,4528	24	0,7238	0,6829	0,6439
				25	0,7319	0,6923	0,6544

Розглянемо його застосування.

У результаті вимірювання отримано 15 результатів, які після впорядкування мають такий ряд значень: -0.60; -0,19; -0.13; -0,10; -0,09; -0.06; -0.02; 0.03; 0.04; 0.08; 0,09; 0,17; 0.21; 0.27; 0,43.

Таким чином, маємо мінімальне значення $a_{(i)} = -0.60$, а максимальне значення $a_{(n)} = 0.43$, і, як можна побачити, вони суттєво відрізняються від значень основної групи. Почнемо з мінімального значення і перевіримо його за критерієм Граббса. Спочатку знайдемо $\bar{a} = 0.008$ і $\delta = 0,228$.

Тоді

$$\bar{a}' = \frac{1}{14} [(-0.19) + (-0.13) + \dots + 0.27 + 0.47] = 0.51 \text{ та } G_1 = 0.494$$

Критичне значення $G_{кр(0.05)}$, яке відповідає рівню значимості 0.05, находимо з таблиці 7.3, тобто $G_{кр(0.05)} = 0,5559$. Оскільки $G_{кр(0.05)} > G_i$ то гіпотеза про однорідність сукупності результатів відкидається і мінімальне значення $a_{(i)} = -0.60$ вилучається з результатів.

Якщо для цього мінімального значення застосувати T -критерій, який був описаний раніше, то для нього отримуємо:

$$T_{min} = 2.710$$

З табл. 7.2 визначимо критичне значення $T_{кр(0.05)} = 2,493$.

Таким чином і за цим критерієм $a_{(i)} = -0.60$ необхідно вилучити з ряду значень.

Розглянемо 14 значень, які залишилися в ряду результатів. Перевіримо максимальне значення $a_{(14)} = 0,43$ на наявність грубої помилки. Для ряду з 14 результатами знайдемо $\bar{x} = 0.051$ і $\delta = 0.166$.

Тоді

$$G_{14} = 0.592$$

Критичне значення $G_{кр(0.05)}$ для ряду 14 значень згідно з табл. 6.3 буде:

$$G_{кр(0.05)} = 0,5340.$$

Оскільки $G_{кр(0.05)} > G_{14}$, то немає підстав вважати $x_{(14)} = 0,43$ грубою помилкою, тобто гіпотеза про однорідність результатів ряду з 14 значень справедлива.

6. β -критерій

При аналізі вимірювань на наявність промахів часто застосовується β -критерій.

Для попередньої оцінки застосовувати наступний алгоритм:

- 1) обчислюється середньоквадратичне відхилення σ ;
- 2) визначається σ_0 ;
- 3) задається довірча ймовірність $P_{дов}$ і знаходяться довірчі інтервали μ за Лапласом або Стьюдентом;
- 4) остаточно встановлюється дійсне значення вимірюваної величини.

Ця методика використовується зазвичай для наближених, попередніх розрахунків. Для остаточних висновків по виявленню і вилученню грубих помилок рекомендується наступний алгоритм:

1. Виключаються систематичні помилки.
2. Встановлюється a_{min} і a_{max} .
3. Визначається середньоквадратичне відхилення σ .
4. Обчислюється β_1 і β_2 за формулами:

$$\beta_1 = \frac{a_{max} - \bar{a}}{\sqrt{\frac{n-1}{n}} \sigma} \quad (7.13)$$

$$\beta_2 = \frac{\bar{a} - a_{min}}{\sqrt{\frac{n-1}{n}} \sigma} \quad (7.14)$$

де a_{min} і a_{max} – найбільше і найменше значення із n вимірювань.

5. Складається таблиця, в якій наводяться в залежності від довірчої ймовірності максимальні значення β_{max} , що виникають внаслідок статистичного розкиду. Якщо $\beta_1 > \beta_{max}$, то значення необхідно виключити зі статистичного ряду як грубу похибку. При $\beta_2 < \beta_{min}$ виключається величина x_{min} . Після

виключення грубих помилок визначаються нові значення \bar{a} і σ із $n - 1$ або $n - 2$ вимірювань та зіставляються з β_{max} і β_{min} або ε_{np} , які задаються через μ .

6. Виключаються при необхідності зі статистичного ряду x_{max} і x_{min} , і виходить новий очищений ряд.

7. Обчислюється нове значення \bar{a} , похибки окремих вимірювань $\Delta = |\bar{a} - a_i|$ і середньоквадратичне відхилення очищеного ряду σ .

8. Знаходиться середньоарифметичне середньоквадратичне відхилення очищеного ряду σ_0 серій вимірювання і коефіцієнт варіації K_v .

9. Задається довірча ймовірність.

10. За відповідними таблицями (для $n \geq 30$ або $n < 30$, і числа членів ряду n , і приймаються t і t_{ct} та визначається довірчий інтервал).

11. Встановлюється дійсне значення досліджуваної величини.

12. Оцінюється відносна похибка результатів серії вимірювань при заданій довірчій ймовірності P_d або P_{ct} :

$$\delta = \frac{\sigma_0 t_{ct}}{\bar{a}} * 100\% \quad (7.15)$$

Якщо величина δ порівнянна з величиною похибки приладу, то межі довірчого інтервалу визначаються так:

$$\mu_{ct} = \sqrt{t_{ct}^2 - \sigma_0^2 + \left[\frac{t_{ct}(\infty)}{3} \right]^2} B_{np} \quad (7.16)$$

Формулою (7.16) слід користуватися при $t_{ct}\sigma_0 \leq 3B_{np}$, якщо $t_{ct}\sigma_0 \geq 3B_{np}$, то довірчий інтервал обчислюється за формулами:

Для $n \geq 30$:

$$\mu = t \cdot \sigma \quad (7.17)$$

де t – гарантований коефіцієнт;

σ – середньоквадратичне відхилення.

Для $n < 30$:

$$\mu = t_{ct} \cdot \sigma_0 \quad (7.18)$$

де t_{ct} – коефіцієнт Стюдента;

σ_0 – середньоарифметичне значення середньоквадратичного відхилення.

Обмеженням застосування розглянутих методів є те, що результати, які отримані при експериментальному дослідженні, є вибіркою з генеральної сукупності, яка має нормальний закон розподілу. Крім того, вони орієнтовані на виявлення лише однієї грубої помилки. Тому, якщо декілька результатів різняться від основної маси результатів, то необхідно послідовно застосовувати розглянуті методи, як це було зроблено в останньому прикладі. До ряду результатів застосовується один з критеріїв вилучення одного з екстремальних результатів. Коли при перевірці гіпотези про однорідність виборки з'ясується, що «підозрюваний» результат не є грубою помилкою, то процедура закінчується. В іншому випадку помилковий результат вилучається із ряду результатів і процедура повторюється відносно до значень, які залишилися. Треба відзначити трудність виявлення грубих помилок, яка пов'язана з так званим «маскуючим ефектом». Він виникає внаслідок того, що результати, які підозрюються в аномальності, часто групуються близько один до одного, створюючи групу, яка дещо відрізняється від основної маси результатів. Це робить послідовні процедури нечутливими до них. В таких випадках треба користуватися узагальненим критерієм Граббса, виходячи з якого американськими статистиками Г. Тит'єном і Г. Муром була розроблена процедура виявлення $k(k > l)$ екстремальних результатів

Контрольні питання:

1. Які види сукупностей існують?
2. Назвіть обмеження правила 3σ ?
3. Як будується гістограма?
4. Для яких вибірок доцільно застосовувати Q -критерій?
5. Коли застосовується метод Пірсона-Смірнова?
6. Як за таблицею Стьюдента визначаються грубі помилки?
7. У чому сутність критерія Граббса?
8. У чому сутність β -критерія?
9. Що таке «маскуючий ефект»?

ЛЕКЦІЯ 8

ТЕМА 3. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

План

1. Методи підбору емпіричних формул.
2. Метод середніх.
3. Метод найменших квадратів.
4. Загальна характеристика регресійного аналізу.
5. Кореляційний аналіз.
6. Метод лінеаризації.

Література: [2, 3, 5, 10, 15,, 19, 26, 29]

1. Методи підбору емпіричних формул

У процесі вимірювань залежності між двома величинами, експериментатор отримує ряд вимірів, які об'єднані функцією:

$$y = f(x), \quad (8.1)$$

де кожному значенню y_1, y_2, \dots, y_n відповідає певне значення аргументу x_1, x_2, \dots, x_n .

Алгебраїчні вирази, які визначають цю залежність, називають емпіричними формулами. Вони мають тим більшу цінність, чим більше вони відповідають результатам експерименту. До емпіричних формул пред'являють дві основні вимоги – по можливості вони повинні бути найбільш простими і відповідати експериментальним даним в межах зміни аргументу. Таким чином, емпіричні формули є наближеними виразами аналітичних формул. Заміну точних аналітичних виразів наближеними, більш простими називають апроксимацією, а функції – апроксимуючими.

Необхідність у підборі емпіричних формул виникає у багатьох випадках. Так, якщо аналітичний вираз складний, вимагає громіздких обчислень, то часто ефективніше користуватися спрощеною наближеною емпіричною формулою. Задача вибору виду математичної моделі неформалізована, так як одна і та ж крива може бути описана приблизно з однаковою точністю різноманітними аналітичними виразами. Головні вимоги до математичної моделі – це зручність її подальшого використання (чим вона простіша тим краще). Друга (важлива, але не завжди здійснена вимога) – інтерпретованість запропонованого аналітичного опису. Як правило, це досягається шляхом надання певного сенсу константами або функціями, що входять в формулу. ЕОМ у питанні аналітичного опису, без сумніву, допомагають, але прийняття рішення залишається за людиною, так як тільки експериментатор знає для чого створюється модель і для чого її пропонується використовувати.

Процес підбору емпіричних формул складається з двох етапів:

- на першому етапі дані вимірювань наносять на сітку прямокутних координат, з'єднують експериментальні точки плавною кривою і вибирають орієнтовно вид формули, яка описує цю криву;
- на другому – обчислюють параметри формул, які найкращим чином відповідали б прийнятій формулі.

Основна перешкода у встановленні залежностей – це похибки. Якщо випадковий розкид координат майже відсутній, то статистична обробка може не потребуватись і криву можна провести практично по точкам. Якщо розкид великий, то з'єднувати їх немає сенсу і необхідно застосувати статистичні методи. Одним з найпростіших експрес методів є метод обведення контурних плавних меж смуги розсіювання експериментальних точок. Якщо при цьому для збереження плавності меж будь-які точки необхідні залишити поза контуром, слід розглядати їх як можливі промахи або аномально великі відхилення. Форма обведеної контуром смуги може орієнтовно надати функціональну залежність $y = f(x)$ проведенням осьової лінії цього контуру. Однак при великому розсіюванні цей метод не працює. У цьому випадку для оцінки залежності може

виявитися корисним метод медіанних центрів. Сутність цього методу полягає в наступному. Обводиться контуром поле точок, ділиться на кілька рівних частин. В кожній частині знаходять лінію, по відношенню до якої зверху і знизу знаходиться рівна кількість точок і перетинання цієї лінії з серединою цієї ділянки дає точку. З'єднавши цю точку з іншими точками інших частин, будується деяка крива. Так як загальна кількість відліків зазвичай невелика, то розбивку потрібно проводити на невелику кількість ділянок, так щоб в кожній ділянці було хоча б 3–6 точок.

2. Метод середніх

Досвід показує, що багато процесів і явищ описуються рівняннями типу:

$$y = a + bx \quad (8.2)$$

де a, b – постійні коефіцієнти.

Такі лінійні рівняння виражають залежність y в багатьох випадках, наприклад, зв'язок вологості і щільності ґрунту, вмістом цементу і міцністю бетону, кількістю проходів змішувальної машини і ступенем роздрібнення ґрунту, тривалістю перемішування асфальтобетонної суміші і ступенем її однорідності.

Тому при підборі емпіричних формул, аналізі та обробці результатів вимірювань необхідно по можливості використовувати найпростішу лінійну залежність

Встановити лінійну функціональну залежність можна різними методами. Самий простий з них – це проведення прямої через крайні точки вибірки.

Ця методика може застосовуватися для попередньої оцінки лінійної функціональної залежності і тільки в тому випадку, якщо усунені грубі промахи, але і в цьому випадку вона може дати додаткові похибки, якщо крайні точки від реальної залежності відхиляються в одну сторону. Більш точним і універсальним є метод середніх заснований на положенні, що найкращою апроксимуючою функцією буде та, з декількох плавних кривих, що побудовані по

експериментальних точках, у якої сума відхилень від експериментальних даних найменша. Реалізація методу здійснюється в наступній послідовності:

- по прийнятій моделі, яка була попередньо отримана за результатами графічного аналізу і експериментальних даних, складається система рівнянь, число яких, зазвичай, дорівнює кількості експериментальних точок і має бути більше кількості коефіцієнтів, що входять у модель;
- розбивають систему початкових рівнянь послідовно зверху вниз на групи (якщо це можливо, кількість вимірювань у групах має бути рівним), число яких повинно дорівнювати кількості коефіцієнтів моделі;
- у кожній групі складають рівняння і одержують нову систему рівнянь, рівну кількості коефіцієнтів моделі (звичайно дві-три);
- розв'язуючи систему, обчислюють коефіцієнти моделі;
- для підвищення точності рівняння групують по декільком варіантам і обчислюють для кожного варіанта емпіричну формулу;
- перевага віддається тій формулі, у якої сума квадратичних відхилень розрахованих значень функції від експериментальних даних була б мінімальна:

$$\sum \varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2 \rightarrow \min \quad (8.3)$$

Метод середніх має достатньо хорошу точність, якщо кількість експериментальних точок в 1,5–2 рази вище ніж ступінь полінома, яким описується ця залежність. Як об'єднувати рівняння у групи? Якщо розкид експериментальних даних не високий, це не має значення. Якщо ні – є різні рекомендації і вибір способу групування залежить від уподобань та компетенції дослідника.

3. Метод найменших квадратів

Найкращі результати для визначення невідомих параметрів емпіричної формули за експериментальними даними дає використання методу найменших квадратів (МНК), який був розроблений Лежандром та Гаусом ще в 1795–1805

роках. З появою і розвитком ЕОМ він отримав широкого застосування, так як для виконання складних та громіздких розрахунків за цим методом зараз розроблені програми обробки даних, які встановлені практично в кожній ЕОМ.

Сутність цього методу полягає в тому, що якщо всі виміри функції y_1, y_2, \dots, y_n зроблені з однаковою точністю, і розподілені величини помилок вимірювання відповідають нормальному закону, то параметри досліджуваного рівняння визначаються за умови, що сума квадратів відхилення вимірних значень від розрахункових приймає найменше значення.

Нехай після попереднього аналізу була вибрано модель виду:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

Задача полягає в тому, щоб знайти найкращі параметри моделі a_0, a_1 і a_2 . Значення x та y нам відомі з експерименту. Між розрахованими за моделлю значеннями $y_i^{\text{розн}}$ і отриманими експериментальними даними будуть спостерігатися відхилення $\Delta y_i = y_i - y_i^{\text{розн}}$. МНК дозволяє знайти такі значення параметрів, при яких виконується умова 7.3:

Отже

$$(\Delta y_i)^2 = (y_i - y_i^{\text{розн}})^2 = (y_i - a_0 + a_1x + a_2x^2)^2 \quad (8.4)$$

Взявши приватні похідні:

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial a}, \quad \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial a_1}, \quad \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial a_2}, \quad (8.5)$$

отримаємо систему нормальних рівнянь для розрахунку параметрів моделі. При введенні експериментальних даних в ЕОМ, вона розрахує коефіцієнти a_0, a_1 і a_2 .

Для знаходження невідомих параметрів (a_1, a_2, \dots, a_n) , число яких n , необхідно вирішити систему n лінійних рівнянь:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= a_1x_1 + a_2u_1 + \dots + a_nz_1 \\
 y_2 &= a_1x_2 + a_2u_2 + \dots + a_nz_2 \\
 \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\
 y_n &= a_1x_m + a_2u_m + \dots + a_nz_m
 \end{aligned}
 \tag{8.6}$$

де y_1, \dots, y_n – приватні значення вимірних величин функції y ;

x, u, z – змінні величини;

a_1, \dots, a_n – коефіцієнти рівняння, які необхідно визначити.

Цю систему приносять 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.д. Це дозволяє отримати так звану систему нормальних рівнянь:

$$\begin{aligned}
 \sum_1^m yx &= a_1 \sum_1^m xx + a_2 \sum_1^m xu + \dots + a_3 \sum_1^m xz \\
 \sum_1^m yu &= a_1 \sum_1^m ux + a_2 \sum_1^m uu + \dots + a_3 \sum_1^m uz \\
 \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\
 \sum_1^m yz &= a_1 \sum_1^m zx + a_2 \sum_1^m zx + \dots + a_3 \sum_1^m zz
 \end{aligned}
 \tag{8.7}$$

Вирішивши цю систему, визначають шукані коефіцієнти.

Метод найменших квадратів забезпечує достовірні результати з високого ступеня надійності. Ступінь точності коефіцієнтів a в (8.7) має бути такою, щоб обчислені значення узбігалися зі значеннями в початкових табличних значеннях. Це вимагає обчислити значення a тим точніше, чим вище індекс a . Тобто a_4 має бути точніше (більше число десяткових знаків), ніж a_3 ; а a_3 – точніше ніж a_2 і т.д.

Для обчислення коефіцієнтів a методом найменших квадратів необхідно розрахунки проводити за типовими програмами на ЕОМ.

4. Загальна характеристика регресійного аналізу

У реальних умовах часто між змінними x і y існує зв'язок, але не цілком визначений функціональний (або детермінований) зв'язок, коли одному значенню аргументу відповідає не одне, а декілька вимірюваних значень. У цьому випадку для встановлення зв'язку між величинами ефективно застосування регресійно-кореляційного аналізу. Суть його зводиться до встановлення рівняння регресії $y = f(x)$, тобто кривої між випадковими величинами, аргументами x і функцією y , оцінки тісноти зв'язків між ними, достовірності і адекватності результатів вимірювань. Регресійний аналіз – це кількісний метод визначення виду математичної функції в причинно-наслідковій залежності між змінними величинами. Кореляційний аналіз – це кількісний метод визначення тісноти і напрямку взаємозв'язку між вибірковими змінними величинами.

Мета регресійного аналізу відшукати рівняння лінії, яка найбільш точно виражає залежність однієї ознаки від іншої. За формою регресія може бути прямолінійною і криволінійною, а за характером – простою, коли змінювання висхідної ознаки відбувається під зміною однієї факторіальної ознаки, і множинною, коли зміна обумовлена декількома факторіальними ознаками.

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 γ . Із зростанням об'ємної ваги збільшується модуль пружності ґрунту. Ця закономірність проявляється лише при наявності великої кількості вимірювань. Для кожного окремого виміру зв'язку $E_i = f(\gamma_i)$ спостерігаються великі відхилення.

Класичний регресійний аналіз включає методи побудови математичних моделей досліджуваних систем, методи визначення параметрів цих моделей і

перевірки їх адекватності. Звичайна процедура класичного регресійного аналізу є такою:

- обирають гіпотетичну модель, тобто формулюють гіпотези про фактори, які суттєво можуть впливати на досліджувану характеристику системи, і тип залежності відгуку від факторів;
- за наявними емпіричними даними про залежність відгуку від факторів оцінюють параметри обраної моделі;
- за статистичними критеріями перевіряють її адекватність.

У класичному регресійному аналізі припускають, що набір факторів задається однозначно, всі суттєві змінні наявні в моделі й немає ніяких альтернативних способів обрання факторів. На практиці це припущення виконується не завжди. Тому виникає необхідність розробки формальних та неформальних процедур перетворення й порівняння моделей. Для пошуку оптимальних формальних перетворень використовують методи факторного та дискримінантного аналізу. На сьогодні розроблено комп'ютеризовані технології послідовної побудови регресійних моделей. Фактори в класичному регресійному аналізі вважають детермінованими, тобто вважається, що дослідник має про них всю необхідну інформацію з абсолютною точністю. На практиці це припущення часто не виконується. Відмова від детермінованості незалежних змінних зумовлює необхідність застосування моделей кореляційного аналізу. В окремих випадках можна використовувати компромісні методи конфлюентного аналізу, які передбачають можливість нормально розподіленого та усіченого розкиду значень факторів.

Вибір типу регресійної моделі є нетривіальним завданням.

У найпростішому випадку для цього використовуються стандартні статистичні методи, такі як лінійна регресія, рівняння якої б можна представити у виді:

$$y = \bar{y} + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{x}) \quad (8.8)$$

На жаль, більшість реальних моделей не вкладаються в рамки лінійної регресії оскільки можуть залежати від комплексу взаємозв'язків множин змінних. Таким чином, необхідні комплексні методи для прогнозування ходу залежності.

Процедура підбору параметрів моделі з використанням прогнозування на основі вибірки даних *в межах* діапазону її значень відомо як *інтерполяція*. За *межами* діапазону значень даних відомо як *екстраполяція*. Виконання екстраполяції тісно залежить від регресійних припущень. Чим далі екстраполяція поширюється від даних, тим більшою буде відхилення моделі від реальних значень.

При виконанні екстраполяції, як правило рекомендують, передбачені значення слід супроводжувати довірчим інтервалом прогнозування, який задає міру невизначеності. Такі інтервали мають тенденцію значно розширюватися коли значення незалежної величини (або величин) виходять за межі діапазону, що покривали дані спостереження. З цієї та інших причин не можна бездумно використовувати дані екстраполяції.

MS Excel надає можливості експериментатору для розрахунку коефіцієнту регресії. Для цього потрібно додатково встановити «Пакет аналізу» в надбудовах.

5. Кореляційний аналіз

Суть кореляційного аналізу зводиться до встановлення рівняння регресії, тобто виду кривої між випадковими величинами, оцінка тісноти зв'язків і достовірності результатів вимірювань. Для оцінки сили зв'язку в теорії кореляції застосовується шкала англійської статистика Чеддока: слабка – від 0,1 до 0,3; помірна – від 0,3 до 0,5; помітна – від 0,5 до 0,7; висока – від 0,7 до 0,9; вельми висока (сильна) – від 0,9 до 1,0.

Щоб попередньо визначити наявність кореляційної зв'язку між x і y . Наносять точки на графік і будують так зване кореляційне поле (рис. 7.1). За тіснотою групування точок навколо прямої або кривої лінії, по нахилу лінії

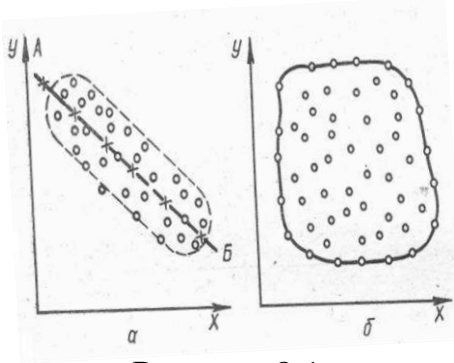


Рисунок 8.1 –
Корреляционное поле

можна візуально судити про наявність кореляційної зв'язку. Так, з рис. 7.1 *a* видно, що експериментальні дані мають певний зв'язок між x і y . У той же час виміри, що наведені на рис. 7.1 *б* такого зв'язку не мають.

Кореляційне поле характеризує вид зв'язку між x і y . Існує три види кореляції – прямолінійна, криволінійна і множинна. Найбільш поширеною є прямолінійна кореляція. За формою поля можна орієнтовно судити про форму графіка, що характеризує прямолінійну або криволінійну залежність. Навіть для цілком вираженої форми кореляційного поля внаслідок статистичного характеру зв'язку досліджуваного явища одне значення x може мати кілька значень y .

Тому оптимальною буде така функція, в якій виконуються умова найменших квадратів (8.3).

Якщо нанести на кореляційному полі (див. рис. 8.1 *a*) середні значення \bar{y} (позначені хрестиками), то лінія $A - B$ буде відповідати функціональній залежності. 8.2, тобто поле кореляції апроксимують рівнянням прямої. Середня лінія кореляційного поля, для якої виконуються умова (8.3), називається лінією регресії, аналітичний вид якої, розраховують з умови (8.3).

При цьому крива $A - B$ найкращим чином вирівнює значення постійних коефіцієнтів рівняння регресії a і b , які обчислюють за формулами:

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}; \quad (8.9)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n} \quad (8.10)$$

або

$$a = \frac{n * \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i * \sum_{i=1}^n y_i}{n * \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (8.11)$$

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

$$r = \pm \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}; \quad (8.12)$$

$$r = \pm \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y}; \quad (8.13)$$

$$r = \pm \frac{\left[\frac{1}{n} \sum (x_i y_i) \right] - x \bar{y}}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (8.14)$$

де n – число вимірювань;

σ_x, σ_y – середньоквадратичні відхилення.

Стандартну похибку коефіцієнта кореляції визначають з рівняння:

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} \quad (8.15)$$

Значення коефіцієнта кореляції записується разом з його похибкою у вигляді $r = \pm S_r$. Критерій суттєвого коефіцієнта кореляції t обчислюють з рівняння:

$$t_r = \frac{r}{S_r} \quad \text{або} \quad t_r = \frac{r \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}} \quad (8.16)$$

Зіставлення фактичного і теоретичного (табличного) значень t при числі ступенів свободи $n - 2$ дає можливість оцінити суттєвість r при тому чи іншому рівню значущості.

Якщо $t_{расч} \geq t_{табл}$, то кореляційний зв'язок існує, а якщо $t_{расч} \leq t_{табл}$ - не існує.

Поряд з коефіцієнтом кореляції для характеристики зв'язку між двома ознаками використовують коефіцієнт детермінації d_{yx} , який чисельно рівний квадрату коефіцієнта кореляції:

$$d_{yx} = r^2 \quad (8.17)$$

Коефіцієнт детермінації показує частину тих змін, які у залежності, що вивчають обумовлені факторіальними ознаками і дають більш чітке уявлення про ступінь спряження ознак. Наприклад, якщо коефіцієнт кореляції рівний 0.20-0.30, то коефіцієнт детермінації $d_{yx} = 0.04 - 0.09$, тобто тільки 4-9% всіх вимірів однієї ознаки пов'язані із змінами другої. При $r = 0.5 - 0.6$ число зв'язків збільшується до 25-30% і тільки при $r = 0.95$ біля 97% зміна результативної ознаки пов'язано із змінами факторіального.

Кореляційне відношення η обчислюється за формулою:

$$\eta_{yv} = \sqrt{\frac{S_v}{S_y}} \quad (8.18)$$

де S_v – сума квадратів відхилення за варіантами;

S_y – загальна сума квадратів.

Незважаючи на громіздкість формули (8.13), вона найбільш проста для обчислень. Значення коефіцієнта кореляції завжди менше одиниці. При $r = 1.0$ величини x і y пов'язані функціональним зв'язком (в даному випадку лінійним), тобто кожному значенню x відповідає одне значення y , при $r = 0$ між x і y лінійного кореляційного зв'язку не існує, однак може існувати нелінійна регресія. Зазвичай вважають тісноту зв'язку задовільною при $r \geq 0.5$; хорошою при $r = 0.8 - 0.85$.

6. Метод лінеаризації

Він полягає в тому, що криву, побудовану за експериментальними точками, перетворюють у лінійну функціональну залежність. Приведення криволінійної залежності до рівняння прямої лінії дозволяє використати

прийоми регресійного аналізу. Для перетворення деякої кривої в пряму лінію вводять нові змінні X і Y :

$$X = f_1(x, y); \quad Y = f_2(x, y) \quad (8.19)$$

які в новому рівнянні були б зв'язані лінійною залежністю (8.2). Значення

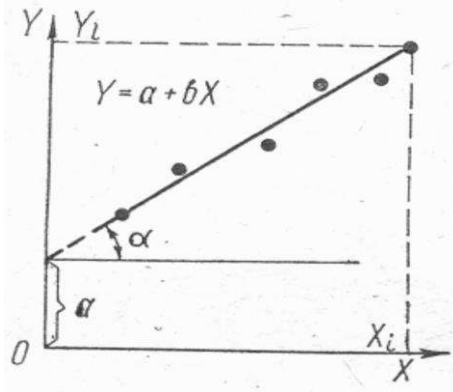


Рисунок 8.2 – Графічне визначення параметрів a і b .

X і Y можна обчислити на основі рішення системи (8.20). Далі будують пряму (рис. 8.2), по якій можна графічно обчислити параметри a (ордината точки перетину прямої з віссю Y) і b (тангенс кута нахилу прямої з віссю Y):

$$b = \operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_i - a}{X_i} \quad (8.20)$$

При графічному визначенні параметрів a і b обов'язково, щоб пряма будувалася на координатній сітці, у якій початком є точка $Y = 0$ і $X = 0$. Для підвищення точності розрахунку b необхідно точки Y_i і X_i приймати на крайніх ділянках прямої, або краще розрахувати методами, які описані у розділах 2 і 3 цієї лекції.

Після встановлення параметрів a і b отримують емпіричну формулу (8.2), яка пов'язує X і Y , що дозволяє встановити функціональний зв'язок і емпіричну залежність (8.2) між x і y .

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

Якщо експериментальний графік має вид рис. 8.3 а, то необхідно застосувати формулу:

$$y = ax^b \quad (8.21)$$

Зробивши наступну заміну $X = \lg x$ і $Y = \lg y$ отримаємо $Y = \lg a + bX$.

При цьому експериментальна крива перетворюється в пряму лінію на

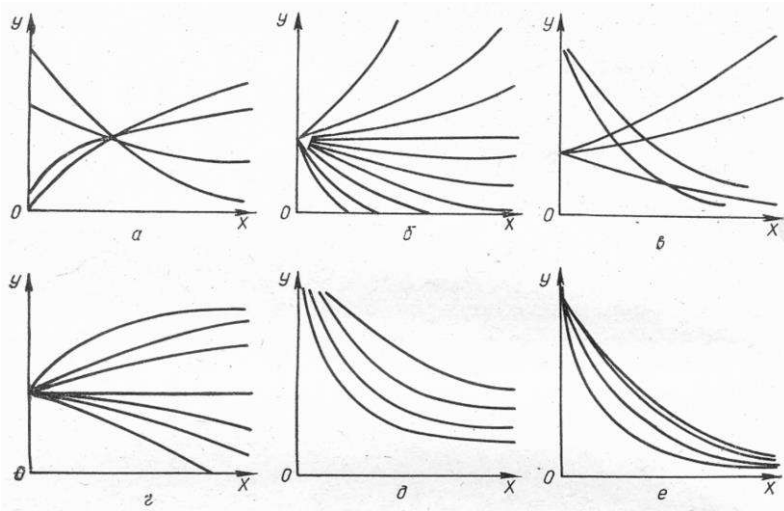


Рисунок 8.3 – Основні види експериментальних графіків

логарифмічній сітці.

Якщо експериментальний графік має вигляд рис 8.3.δ, то для лінеаризації застосовується аналітичний вираз:

$$y = ae^{bx}. \quad (8.22)$$

Виконавши заміну $Y = \lg y$, маємо:

$$Y = \lg a + xb \lg e \quad (8.23)$$

При цьому

експериментальна крива перетворюється в пряму лінію у півлогарифмічній сітці.

Якщо експериментальний графік має вид рис. 8.3 в, то застосовується функція:

$$y = ax^b + c, \quad (8.24)$$

У цьому випадку можливі два варіанти:

якщо b відомо, виконуючи заміну змінної $X = x^b$, маємо пряму лінію на сітці прямокутних координат $y = aX + c$;

якщо b невідомо, виконуючи заміну змінної $X = \lg x$ і $Y = \lg(y - c)$, отримуємо пряму лінію на логарифмічною сітці $Y = \lg a + bX$. У цьому випадку для визначення коефіцієнтів лінеаризації необхідно попередньо обчислити c . Для цього по експериментальній кривій приймають три довільні точки:

$$x_1 y_1; \quad x_2 y_2; \quad x_3 = \sqrt{x_1 x_2}; \quad y_3 \quad (8.25)$$

і обчислюються значення c за формулою:

$$c = \frac{y_1 y_2 - y_3^2}{y_1 + y_2 - 2y_3}. \quad (8.26)$$

Якщо експериментальний графік має вид рис. 8.3 в, то застосовуємо функцію:

$$y = ae^{bx} + c. \quad (8.27)$$

Зробивши заміну $Y = \lg(y - c)$, отримуємо пряму на півлогарифмічній сітці: $Y = \lg a + b \lg ex$.

Якщо експериментальний графік має вид рис. 8.3 д, то застосовуємо функцію:

$$y = a + \frac{b}{x}, \quad (8.28)$$

Зробивши заміну $x = \frac{1}{z}$, отримаємо пряму лінію у сітці прямокутних координат $y = a + bz$.

Якщо графік має вид рис. 8.3 е, то потрібно використовувати формулу:

$$y = \frac{1}{a + bx}. \quad (8.29)$$

Зробивши заміну $y = \frac{1}{z}$, маємо $z = a + bx$, тобто пряму у сітці прямокутних координат.

Для лінеаризації функціональної залежності типу:

$$y = \frac{1}{a + bx + cx^2} \quad (8.30)$$

виконується заміна $y = \frac{1}{z}$, у результаті якої маємо залежність $z = a + bx + cx^2$.

Складна ступенева функція типу:

$$y = ae^{nx+mx^2} \quad (8.31)$$

перетворюється у пряму лінію при такій заміні змінних:

$\lg y = z$; $\lg a = p$; $n \lg e = g$; $m \lg e = r$ у результаті якої маємо залежність $z = p + gx + rx^2$.

За допомогою наведених на рис. 8.3 графіків і виразів (8.24) – (8.31) практично можна завжди підібрати рівняння емпіричної формули.

Розглянемо їх використання на наступному прикладі: Підібрати емпіричну формулу для наступних результатів вимірювань:

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

На основі цих даних будуємо графік. Як видно з рис. 8.4а, маємо типовий графік для показової функції (рис. 8.3б). У цій формулі необхідно знайти параметри a і b .

Після логарифмування цього виразу маємо $\lg y = \lg a + b \lg ex$.

Якщо позначити $\lg y = Y$, то $Y = \lg a + b \lg ex$. Тобто в півлогарифмічних координатах вираз для Y являє собою пряму лінію, що підтверджується рис. 8.4б.

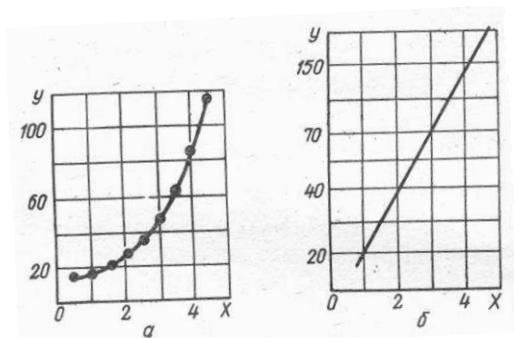


Рисунок 8.4 – Експериментальна крива (а) і випрямлення (б).

Підставивши у рівняння координати крайніх точок отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \lg 15.2 &= \lg a + b \lg e, \\ \lg 117.2 &= \lg a + 4.5b \lg e \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} \lg a + b \lg e &= 1.183; \\ \lg a + 4.5b \lg e &= 2.070 \end{aligned}$$

$$\text{Звідкіля } b = \frac{0.887}{3.5 \lg e} = 0.579;$$

$$\lg a = 1.183 - 0.254 = 0.929; a = 1.85.$$

Остаточна емпірична формула має вигляд

$$y = 1.85 * e^{0.579x}.$$

Метод середніх може бути застосований для різних кривих після їх вирівнювання. Реалізацію його розглянемо на прикладі: Є вісім вимірів:

x	3	6	9	12	15	18	21	24
y	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 $y = ae^{-bx}$.

Зробимо лінеаризування шляхом заміни змінних $Y = \lg y$, $X = \frac{x}{2.303}$.

Тоді $Y = A + BX$, де $A = \lg a$, $B = b$.

Оскільки необхідно визначити два параметри, то розбиваємо всі виміри на дві групи по чотири виміри. Складаємо вісім рівнянь:

$$\begin{array}{ll} 1.7604 = A + \frac{3}{2.303}B; & 1.2201 = A + \frac{15}{2.303}B; \\ 1.6222 = A + \frac{6}{2.303}B; & 1.0864 = A + \frac{18}{2.303}B; \\ 1.4914 = A + \frac{9}{2.303}B; & 0.9494 = A + \frac{21}{2.303}B; \\ 1.3560 = A + \frac{12}{2.303}B; & 0.8129 = A + \frac{24}{2.303}B; \\ \hline 6.2300 = 4A + \frac{30}{2.303}B; & 4.0688 = 4A + \frac{78}{2.303}B. \end{array}$$

Після підсумовування по групах отримуємо систему двох рівнянь з двома невідомими A і B , вирішуючи яку, маємо:

$$\begin{aligned} A &= 1.8952; \\ a &= 78.564; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= -0.1037; \\ b &= -0.1037. \end{aligned}$$

Остаточню:

$$y = 78.56e^{-0.1037x}.$$

Таким чином, метод лінеаризації дозволяє спростити вибір і інтерпретацію експериментальних залежностей та математичних моделей.

Контрольні питання:

1. Що таке емпірична формула?

2. У яких випадках виникає необхідність визначенні емпіричних формул?
3. Що таке метод медіанних центрів?
4. Назвіть основні види функціональних залежностей.
5. Що таке метод середніх?
6. Визначте суть регресійного аналізу.
7. Визначте суть кореляційного аналізу.
8. Що таке лінеаризація?
9. Як здійснюється процес лінеаризації?

ВИСНОВКИ

Ефективне функціонування підприємства, виробництва, соціальних інститутів у сучасному світі не можливе без активної їх співпраці з наукою, використання її здобутків. Наука стала рушійним двигуном розвитку суспільства, перетворюється у виробничу силу. Сфера діяльності науки обіймає всі сторони життя людини і завдання, які ставляться перед нею. Їх розв'язання не ефективно, а іноді навіть не можливе без застосування наукового апарату і логіки процесу наукового дослідження.

Тому сучасний фахівець має добре опанувати не тільки спеціальні фахові знання, але й бути активним, ініціативним, вміти проводити і на основі результатів проведених досліджень вдосконалювати технологічні процеси і техніку і втілювати їх у практику. Це потребує підготовки висококваліфікованих кадрів, які володіли б знаннями та навичками у галузі наукових досліджень: підборі необхідної науково-технічної інформації; її аналізу, принципів організації і методів планування та проведення експерименту, коректної обробки отриманих результатів. Засвоєння цих знань дуже важливе для завтрашніх випускників – фахівців, від яких залежить майбутнє держави. Вони будуть корисні фахівцям незалежно від того, яку галузь науки чи техніки вони оберуть. Реалізація надбаних компетенцій майбутнього фахівця у галузі наукових досліджень, які придбані при вивченні дисципліни «Теорія і практика наукових досліджень» допоможуть починаючим фахівцями легше включатися у професійну діяльність, забезпечать здатність до самостійної творчої дослідницької роботи, дозволять отримувати висновки, які об'єктивно відображають стан об'єкту, що вивчається, і в сукупності з фаховими знаннями розробляти пропозиції та рекомендації.

Втілення їх у життя сприятиме підвищенню рівня суспільного виробництва і, одночасно, кар'єрному зростанню молодого фахівця.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи наукових досліджень. Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2017. – 176 с.
2. Методологія та організація наукових досліджень: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2009. – 206 с.
3. Теорія і технологія наукових досліджень. Навчальний посібник. Гайдучок В. М., Затхей Б. І., Лінник М. К. – Львів: Афіша, 2006. – 232 с.
4. В.М. Сиденко, И.М. Глушко. Основы научных исследований. -- Харьков: Высшая школа, 1978. – 199 с.
5. Методологія наукових досліджень: навч. посібн. / В. П. Волков, М. А. Подригало, О. П. Кравченко та ін. ; Харк. нац. автомоб.-дорож. ун-т та ін. – Луганськ : СНУ, 2009. – 351 с.
6. Стеченко Д. М. Методологія наукових досліджень: підручник / Д. М. Стеченко, О. С. Чмир. – 2-ге вид., переробл. і допов. – К. : Знання, 2007.
7. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 205 с.
8. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
9. Чупріна Н. В. Методологія сучасних наукових досліджень: навч. посібн. для студ. вищ. навч. закл. / Н. В. Чупріна ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К.: КНУТД, 2009. – 246 с.
10. Юринець В. Є. Методологія наукових досліджень: навч. посібн. / В. Є. Юринець ; Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. – Львів : ЛНУ, 2011. – 179 с.
11. Тюрин Н.И. Введение в метрологию. – М.: Изд. стандартов, 1973. – 248 с.
12. Пономаренко В. С. Аналіз даних у дослідження соціально-економічних систем / В. С. Пономаренко, Л. М. Малярець. – Х. : ВД "ІНЖЕК", 2009. – 432 с.
13. Конспект лекцій з дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень». Укладач О.М. Коробочка, Дніпродзержинськ, 2015. – 98 с.

14. Ю.В. Юдин, М.В. Матсурадзе, Ф.В. Водолазский организация и математическое планирование эксперимента. Учебное пособие. Екатеринбург, Из-во Уральского университета, 2018 – 124 с.
15. Косолапов В.В., Щербань А.Н. Оптимизация научно-исследовательской деятельности. – Киев: Наукова думка, 1971. –297 с.
16. Пушкарь А. И. Основы научных исследований и организация научно-исследовательской деятельности: учебн. пособ. / А. И. Пушкарь, Л. В. Потрашкова. – Х. : Изд. ИНЖЕК, 2006. – 289 с.
17. Демківський А. В. Основы методології наукових досліджень : навч. посібн. / А. В. Демківський, П. І. Безус. – К. : Акад. муніцип. упр., 2012. – 276 с.
18. Бабнюк Г.В. Основы научных исследований: Курс лекций. – Алчевск, ДонГТУ, 2017.- 247 с.
20. Важинський С.Е., Щербак Т.І. Методика та організація наукових досліджень; Навч. Посіб./ С.Е. Важинський, Т.І. Щербак. – Суми, Сум. ДПУ ім. А.С. Макаренка, 2016.- 260 с.
21. Метрологічна обробка результатів технічних вимірювань. Методичний посібник. Укладачі Коробіцин Б.В., Горбачов В.Е., Одеса, 44 с.
22. Наукове дослідження: організація, методологія, інформаційне забезпечення: Навчальний посібник. Пілюшенко В.Л., Шкрабак І.В., Славенко Е.І. – Київ: Лібра, 2004- 344 с.
23. Основы научных исследований. Руковод. авт. кол. Баранов Е.Г. – Київ; Донецьк: Вища школа. Головне видавництво, 1984 – 176 с.
24. Методологія і організація наукових досліджень: навч. посіб./ Григорук П.М., Хрущ Н.А. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2017. – 206 с.
25. О.М. Чкалова. Основы научных исследований. – Киев: Высшая школа, 1978. – 118 с.
26. И.Д. Насонов. Моделирование горных процессов. – М.: Недра,1978. – 220 с.
27. Єріна А. М. Методологія наукових досліджень / А. М. Єріна. – К. : Центр навч. л-ри, 2004. – 212 с.

28. Основи наукових досліджень. 2-ге вид. випр.. та доп. Навч. посіб. Колесников О.В. – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 144 с.

29. Основи методології та організації наукових досліджень: Навч. посіб. Для студентів, курсантів, аспірантів і ад'ютантів / за ред. А.Є. Конверського. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 352 с.

30. ДСТУ 3008:2015 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».

http://www.knmu.kharkov.ua/attachments/3659_3008-2015.PDF

31. ДСТУ ГОСТ 7.1-2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання : чинний з 2007-07-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с. (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи) (Національний стандарт України).

ДОДАТОК А

Форма № ДН-8.06.2

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет «Гірничий»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Розробка родовищ корисних копалин»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____/ ПІБ ____./

“ ” _____ 2021 року

Випускна кваліфікаційна робота

магістр

(освітній ступінь)

на тему: « _____ »

Виконав: студент 2 курсу, групи _____

спеціальності 184 «Гірництво», освітня програма «Розробка родовищ та видобування корисних копалин»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

ПІБ

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доц., к.т.н., ПІБ

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент ПІБ _____

(підпис)

Покровськ – 2021

ДОДАТОК Б

Форма № ДН-8.05

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет ГірничийКафедра Розробка родовищ корисних копалинОсвітній ступінь магістрСпеціальність 184 «Гірництво»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____/ ____ ПІБ ____./

“ ____ ” _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ

на випускню кваліфікаційну роботу магістру

ПІБ _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: « _____ »

керівник роботи ПІБ, к.т.н. _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом № _____ від “ ____ ” _____ 2021 року

2. Строк подання студентом роботи 07 травня 2021 року3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити:

1 Характеристика шахти та шахтного поля; 2 Аналіз гірничо-геологічних умов відробки пласта с¹₆; 3 Розробка технологічних рішень щодо розробки пласта с¹₆; 4 Розробка працезохоронних заходів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Схема розкриття шахтного поля; 2. План гірничих виробок по пласту с¹₆; 4, 5, 6. Паспорти кріплення та управління покрівлею в діючих лавах; 7. Паспорт кріплення та управління покрівлею в лаві о пласту с¹₆. 8. Схема провітрювання шахтного поля.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 18 лютого 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

<i>№ п/п</i>	<i>Назва етапів роботи</i>	<i>Термін виконання етапів роботи</i>	<i>Примітка</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1			
2			
3			
5			
6	Оформлення роботи і підготовка до захисту		

Студент _____ ПІБ _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ ПІБ _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

ДОДАТОК В

АНОТАЦІЯ

Смірнов В.Ю. Вибір та обґрунтування умовах ПрАТ “Шахтоуправління “Південне” / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 184 «Гірництво» (спеціалізація «Розробка родовищ та видобування корисних копалин»). – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Здійснено аналіз умов відпрацювання пласта

Вивчено

Встановлено,

.....

Аналіз існуючих заходів охорони дозволив пропонувати у таких умовах

.....

На основі розрахунків було запропоновано

.....

Ключові слова: умови, підтримання, охорона виробки, зміщення, розвантаження, параметри.

ДОДАТОК Г**РЕЦЕНЗІЯ**

на дипломний проект (дипломну роботу, випускну кваліфікаційну роботу)

освітнього ступеня « _____ »

виконаний (-у) на тему: _____

(повна назва теми ДП (ДР, ВКР))

студентом(-кою) _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

факультету _____

(назва факультету)

_____ ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Спеціальність _____

Тема _____

По матеріалам _____

актуальність теми: _____

Позитивні сторони і практична значущість роботи: _____

Оцінка самостійних розробок автора: _____

Недоліки роботи: _____

Загальний
висновок: _____

Рецензент: _____

(ПІП, науковий ступінь, вчене звання, посада, контактна інформація, підпис)

« _____ » _____ 20_ г.

(М.П.)

Рецензія на статтю в _____ № ____/202__

Назва статті	
--------------	--

Відповідність до загальних вимог щодо структури поданого матеріалу

Критерій	Коментарі
Витриманість структури та обсягу реферату статті (розбиття за розділами, достатність обсягу та інформативність)	
Витриманість структури та обсягу реферату статті (розбиття за розділами, підрозділами, структурна послідовність)	
Чіткість формулювання мети (завдання)	
Чіткість формулювання висновків дослідження	

Опрацювання теми та допоміжні (ілюстративні) матеріали

Критерій	Коментарі
Обсяг викладення основного матеріалу статті достатній для освітлення досліджень	
Рівень наукової новизни результатів досліджень	
Рівень практичного значення (впровадження) результатів досліджень	
Обґрунтованість висновків	
Переконливість допоміжних матеріалів (графіків, рисунків, схем, таблиць тощо)	
Свіжість та цитованість джерел посилань	

Стиль та граматика викладення

Критерій	Коментарі
Граматична будова мови відповідає читацькій аудиторії науково-технічного журналу	
Граматика викладеного матеріалу	
Пунктуація викладеного матеріалу	
Орфографія викладеного матеріалу	

Коментарі рецензента

(Рекомендації до матеріалу, що рецензується)

.....

.....

.....

Остаточне рішення	Прийняти	
	Доопрацювати	
	Відхилити	

Рецензент _____

(ППП, науковий ступінь, вчене звання, посада, контактна інформація, підпис)

ДОДАТОК Д

ПРИКЛАД БЛАНКУ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРТНОГО ОПИТУВАННЯ

Експертне опитування

П.І.Б. _____

Посада _____

Оцініть пріоритетність врахування відповідного фактора для розробки працезохоронних заходів по зонам лави шляхом присвоєння їм рангового номеру: 1- високий

2- середній

3- низький

Якщо пріоритетності факторів рівнозначні, їм присвоюється однаковий ранговий номер.

Номери технологічних зон	Пріоритетність врахування відповідного фактора для розробки працезохоронних заходів										
	шум	вібрація	освітленість	запиленість	обмеженість	захащеність	рівень механізації	важкість виконання	оптимальний	обвалювання порід	покрівлі
I (біля очисн. комб.)											
I (по довжині лави)											
II											
III											
IV											
V											
VI											
VII											
VIII											
IX											

