

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО

**Черноусенко О.Ю., Чепелюк О.О.,
Риндюк Д.В.**

Основи наукових досліджень та інженерної творчості

*Затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря
Сікорського як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю «Теплоенергетика»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2016

Гриф надано вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського

(протокол № 5 від 15 травня 2017 р.)

Рецензенти: *Є. В. Штефан (проф., д.т.н., зав. каф. машинобудування, стандартизації та сертифікації обладнання, НУХТ)
О. А. Шрайбер (проф., д.т.н., ст.н.с. Інституту загальної енергетики НАН України)*

Відповідальний редактор: *Л. С. Бутовський*

Електронне навчальне видання

Черноусенко О.Ю., Чепелюк О.О., Риндюк Д.В.

Основи наукових досліджень та інженерної творчості // Навчальний посібник для студентів напрямів підготовки 144 «Теплоенергетика». – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 270 с.

В посібнику стисло представлено систематизовану інформацію, яка знадобиться при проведенні науково-дослідної роботи студентами та опрацюванні її результатів. Дано поняття науки, планування, проведення досліджень, створення дослідної установки, підбору вимірювальних пристроїв, аналізу експериментальних даних, ознайомити з правилами обробки результатів дослідження та оформлення наукових праць (звіту), роботі з науково-технічною інформацією.

Для студентів напрямів підготовки 144 «Теплоенергетика» вищих закладів освіти.

В авторській редакції

Система підготовки фахівців у вищих технічних навчальних закладах має обов'язково передбачати залучення майбутніх інженерів до науково-дослідної роботи і технічної творчості. Здобуваючи освітньо-кваліфікаційний рівень «спеціаліст» або «магістр», студент проходить усі етапи класичних наукових досліджень: проведення аналітичного огляду літературних джерел та патентно-інформаційних досліджень, виконання експериментальних та/або конструкторських робіт, результати яких представляються на конференціях різних рівнів та у вигляді публікацій у друкованих або електронних виданнях. Для переходу української освіти, науки і виробництва на світові стандарти необхідно підготувати фахівців нової генерації з широким світоглядом, здатних до творчого мислення, самостійного відкриття нового.

Мета цього посібника – стисло представити систематизовану інформацію, яка знадобиться при проведенні науково-дослідної роботи студентами та опрацюванні її результатів.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ОСНОВИ НАУКОЗНАВСТВА.....	9
1.1. Феномен науки. Критерії науковості.	9
1.2. Проблема класифікації наук	14
1.3. Науково-технічна політика в Україні	16
1.4. Прогнозування розвитку науки і техніки	25
1.5. Підготовка науково-педагогічних і наукових кадрів в Україні	27
Контрольні запитання.....	34
2. СУТНІСТЬ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ТЕХНІЧНОЇ ТВОРЧОСТІ	36
2.1. Наукове дослідження: визначення та класифікація	36
2.2. Методологія наукових досліджень	38
2.3. Методи планування наукових досліджень	55
2.4. Ефективність наукових досліджень та її критерії	58
2.5. Технічна творчість	61
2.5.1. Постановка задачі інженерної творчості.	63
2.5.2. Асоціативні методи пошуку нових технічних рішень.	64
2.5.3. Психологічні методи активізації творчої діяльності	65
2.6. Науково-дослідна робота та технічна творчість студентів	79
Контрольні запитання.....	83
3. НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ	85
3.1. Початкові відомості про наукову інформацію.....	85
3.2. Види наукових творів	88
3.3. Картотеки, каталоги.....	90
3.4. Пошук інформації в глобальній мережі Інтернет.....	94
3.5. Патентна документація.....	98
3.5.1. Поняття «права інтелектуальної власності»	98
3.5.2. Інститут патентних прав	99
3.5.3. Права та обов'язки патентовласників.....	105
3.5.4. Пошук патентної документації.....	108
3.6. Оформлення списку використаних джерел.....	112
Контрольні запитання.....	116

4. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	118
4.1. Визначення задач експериментів. Види експериментів	118
4.2. Визначення мети, вибір об'єкта й обґрунтування предмета дослідження	121
4.3. Аналіз стану розробленості проблеми дослідження та постановка його завдань.....	122
4.4. Висунення гіпотези та розроблення теоретичних передумов проведення дослідження	124
4.5. Вибір методів та засобів досліджень	126
4.6. Планування та організація дослідження.....	144
4.7. Безпосереднє виконання теоретичного чи експериментального дослідження	146
4.8. Обробка й аналіз результатів експериментального дослідження і оцінювання їх достовірності	150
4.8.1. Графічне оформлення результатів досліджень.....	152
4.9. Узагальнення результатів дослідження та їх апробація	160
4.10. Оформлення наукової роботи за результатами дослідження, її представлення та захист	162
Контрольні запитання.....	166
5. ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ.....	168
5.1. Невизначеність вимірювання.....	168
5.2. Клас точності приладів.....	172
5.3. Систематичні та випадкові похибки	175
5.4. Визначення систематичної складової похибки вимірювань. Перевірка та градуювання приладів.....	179
5.5. Оцінювання випадкових похибок експерименту	183
5.5.1. Теоретичні характеристики випадкової величини	184
5.5.2. Побудова емпіричної кривої розподілення	186
5.5.3. Основні теоретичні закони розподілення.....	188
5.5.4. Виключення грубої похибки вимірювання	196
Контрольні запитання.....	200
6. ОДНОФАКТОРНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ	202
6.1. Види факторів, вимоги до них	202

6.2. Планування однофакторних експериментів.....	204
6.3. Обробка результатів однофакторних експериментів	210
6.4. Кореляційний аналіз результатів вимірювання	217
Контрольні запитання.....	221
7. БАГАТОФАКТОРНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ	222
7.1. Планування багатофакторних експериментів.....	222
7.2. Повний факторний експеримент	224
7.3. Дробовий факторний експеримент	234
7.4. Знаходження коефіцієнтів багатофакторних залежностей методом найменших квадратів.....	238
Контрольні запитання.....	241
8. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ ОБЛАДНАННЯ	242
8.1. Параметри оптимізації технологічного процесу	242
8.2. Оптимізація в однофакторних експериментах	242
8.3. Способи вирішення задач оптимізації в багатофакторних експериментах	244
8.3.1. Метод Зейделя – Гауса	244
8.3.2. Метод крутого сходження (метод Бокса – Уілсона	246
8.3.3. Симплекс-планування	248
8.3.4. Лінійне програмування	250
8.4. Основи раціонального конструювання обладнання.....	252
Контрольні запитання.....	253
9. ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ТА НАУКОВОГО ЗВІТУ.....	255
9.1. Структура наукового звіту	255
9.1.1. Вимоги до структурних елементів вступної частини	255
9.1.2. Вимоги до структурних елементів основної частини	257
9.1.3. Вимоги до додатків.....	262
9.2. Вимоги до оформлення статей	263
9.3. Оформлення об'єктів технічної творчості	264
Контрольні запитання.....	267
Список використаної літератури	268
Додатки.....	273

ВСТУП

Предметом дисципліни «Основи наукових досліджень» є основні правила збирання, принципи аналізу та обробки науково-технічної інформації, правила графічної та математичної обробки результатів науково-дослідної роботи.

Мета дисципліни: дати студентам визначення понять науки, планування, проведення досліджень, створення дослідної установки, підбору вимірювальних пристроїв, аналізу експериментальних даних, ознайомити з правилами обробки результатів дослідження та оформлення наукових праць (звіту), роботі з науково-технічною інформацією.

Роль дисципліни полягає в ознайомленні студентів з усіма складовими частинами та етапами наукових досліджень, а також у підготовці їх до самостійного вирішення виробничих проблем і проведення науково-дослідної роботи.

Дисципліна тісно пов'язана з іншими дисциплінами, які вивчає студент при опануванні спеціальності: “Вища математика”, “Фізика”, “Інформатика”, “Автоматизація виробничих процесів”, “Математичні методи та моделі”, “Комп’ютерні технології в інженерних розрахунках” та інших і служить підготовці фахівця, який в подальшій роботі зможе використати набуті знання для дослідження, вдосконалення старих та розробки нових типів обладнання.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни є ознайомлення студентів з усіма складовими частинами та етапами наукових досліджень, а також підготовка їх до самостійного вирішення виробничих проблем і проведення науково-дослідної роботи.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми в результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

знати: методологію проведення теоретичних та експериментальних наукових досліджень, завдання та зміст математичного і фізичного моделювання; сутність математичного планування експерименту, похибки і

обмеження методів дослідження, правила та послідовність створення експериментальної установки; вимоги до оформлення результатів наукових досліджень

вміти: аналізувати сучасні досягнення науки і техніки в галузі; розроблювати робочі плани і програми окремих етапів дослідницької роботи; обирати найбільш ефективні методи та вимірювальні прилади, метрологічно забезпечувати проведення експериментальних досліджень; з урахуванням сучасних вимог самостійно планувати, організовувати та проводити науковий експеримент з метою удосконалення та розроблення нових технологій та обладнання в умовах дослідної лабораторії та у виробничих умовах; аналізувати отримані результати; готувати звіти з теми наукових досліджень, виступати на конференціях, оформлювати наукові статті, готувати матеріали для одержання патентів; володіти методологією творчої діяльності при вирішенні професійних завдань; використовувати професійно-профільовані знання для впровадження наукових розробок у виробництво, користуючись сучасними нормативними документами і технічною документацією.

мати досвід: використовуючи сучасні інформаційні джерела: проводити патентний пошук; користуватися інформаційними технологіями для пошуку науково-технічної інформації згідно завданню експерименту; здійснювати математичне планування експерименту; в умовах дослідних та виробничих лабораторій, використовуючи сучасні методи досліджень: проводити експериментальні дослідження, вимірювати параметри і характеристики на експериментальних установках; оцінювати похибки експерименту; виконувати обробку отриманих даних, в тому числі з використанням інформаційних технологій; аналізувати результати досліджень; складати звіт за результатами науково-дослідної роботи, оформлювати отримані результати.

1. ОСНОВИ НАУКОЗНАВСТВА

1.1. Феномен науки. Критерії науковості.

Протягом всього свого існування людство накопичувало відомості, факти, на основі яких формувалися знання про навколишній світ і місце в ньому людини. Знання необхідні для орієнтації в навколишньому світі, для пояснення і передбачення подій, планування і реалізації діяльності та розробки інших нових знань. Знання – динамічна система, що швидко розвивається, темпи зростання якої в сучасних умовах перевищують темпи зростання будь-якої іншої системи. Узагальнені, опрацьовані знання стають вченнями.

У довідкових виданнях **вчення** визначають як множину тверджень, які призначені для встановлення чи зміни світогляду людини, її сприйняття навколишнього світу. Вчення можна застосовувати в діяльності людини для задоволення її потреб.

Серед вчень розрізняють такі:

1) вчення, які описують весь чи якийсь аспект світів (реального та нереальних) і спрямовані на їх дослідження й отримання на цій основі нових знань. Серед цих вчень виділяють *науку, псевдонауку і паранауку*.

2) вчення, які описують застосування відомих знань, [техніки](#), матеріалів і вмінь для проектування й експлуатації будівель, машин, обладнання, структур, промислових процесів, що задовольняють потреби людини. Цю групу вчень називають *інженерними вченнями*, а їх застосування – інженерією (інженерною справою). Інженерія, хоча в наш час і належить до інтелектуальної діяльності людини, походить від ремесел (практичної діяльності). В інженерії виділяють виробничу, соціальну (гуманітарну), педагогічну, програмну, генну, мистецьку діяльність тощо. Інженерні вчення викладають, як правило, у сфері інструктивних текстів – інструкцій та керівництв до експлуатації технічних засобів або методик виконання певної роботи.

Різниця між інженерними вченнями і наукою полягає в тому, що наука передбачає продуктивну діяльність людини, тобто проведення наукових досліджень і отримання таких знань, якими людство ніколи раніше не володіло, а інженерні вчення – репродуктивну діяльність, тобто використання тих знань, які людству вже відомі (наприклад, проектування будинків, обладнання, приладів за типовими проектами чи відомими технологіями) [1].

Від інженерних вчень потрібно чітко відрізнити технічні науки, які спрямовані на створення принципово нових видів техніки й нових матеріалів. До основних технічних наук належать: машинознавство, машинобудування, матеріалознавство, авіаційна та ракетна техніка, приладобудування, електротехніка, радіотехніка, обчислювальна техніка, енергетика, металургія, хімічні та біотехнології, транспорт, будівництво тощо. Технічні науки становлять найчисельнішу групу – їх близько ста тридцяти.

Наука належить до окремого виду пізнавальної діяльності людини, спрямованої на вироблення об'єктивних, системно організованих і обґрунтованих знань про навколишній (реальний) світ. Основою цієї діяльності є збір фактів, їх критичний аналіз, узагальнення, систематизація і на цій основі синтез нових знань, які не тільки описують природні або суспільні явища, які спостерігаються, а й дають змогу побудувати між ними причинно-наслідкові зв'язки, і як наслідок – прогнозувати їх стан і розвиток в майбутньому. Науковці – люди, здатні це зробити.

За одним із визначень **наука** – це сукупність узагальнених, систематизованих тверджень (знань), які описують реальний світ, причому є або істинними, або імовірно істинними, а також мають цінність для суспільного життя. Так, наприклад, фізика описує весь світ, а біологія – лише окрему його частину.

Як впливає з цього визначення, наука не вивчає нереальні світи – псевдореальний, ірреальний і невизначений. Проте наука (літературознавство, фольклористика) досліджує повідомлення або тексти про ці нереальні світи

(художню літературу, казки, релігійну літературу тощо), оскільки самі ці повідомлення існують у реальному світі.

Науку, яка відповідає наведеному вище визначенню, називають **традиційною**. У традиційну науку, як її складова частина, входить **ортодоксальна** (яка неухильно дотримується принципів якого-небудь учення, світогляду; послідовна). Ортодоксальна наука ставить до досліджень дві обов'язкові вимоги.

1. Результат дослідження повинен ґрунтуватися та підтверджуватися емпіричними даними (фактами). Як впливає з цієї вимоги, до ортодоксальної науки не належать, по-перше, прогнози, оскільки в момент проведення дослідження потрібні емпіричні дані неможливо отримати, а по-друге, суто теоретичні дослідження. Звичайно, існує ціла низка ситуацій, коли провести емпіричні дослідження неможливо (наприклад, неможливо поставити повномасштабні експерименти про виникнення Всесвіту, про появу життя на Землі, про деякі процеси в суспільстві, про медичне лікування хворих людей тощо). Для подолання цього обмеження (коли неможливо поставити експерименти), висувають **гіпотези**, але ці гіпотези так само потребують експериментальної перевірки науковими методами на моделях об'єктів чи процесів, які для цього створюють (наприклад, у медицині використовують мишей та інших живих істот). При цьому про гіпотетичність результату наукової роботи повинно бути зазначено явно. Такі результати належать вже не до ортодоксальної, а до традиційної науки.

2. Отримані емпіричні дані повинні бути такими, щоб була можливість їх повторного отримання. Саме тому в наукових дослідженнях слід детально наводити методи дослідження, їх адекватність обраному об'єкту і умови проведення дослідів.

Навпаки, ігнорування чи спотворення фактів, відмова від перевірки теоретичних досліджень результатами спостережень, неможливість відтворення результатів досліджень, логічна недоведеність отриманих результатів, використання псевдотермінів є ознакою **псевдонауковості** [1].

На відміну від ортодоксальної, традиційна наука, можна сказати, більш «лояльно» ставиться до отриманих науковцями результатів. Так, вона «дозволяє» наявність гіпотез, теоретичних досліджень і навіть прогнозів, виконаних за певними правилами.

Щодо теоретичних досліджень (наприклад, математики), то критеріями їх науковості вважають: 1) несуперечність вихідних постулатів, 2) дотримання правил оперування із символічними даними, інакше кажучи, правил виведення, які є відомими і усталеними; 3) несуперечливість отриманих результатів існуючим науковим теоріям у межах їх застосування. А ще в одній теоретичній науці – теоретичній фізиці – до цих критеріїв додають можливість зовнішньої перевірки отриманих результатів у такому розділі фізики, як експериментальна фізика, в якій дослідники-експериментатори перевіряють правильність того, що отримали теоретики.

У гуманітарних дослідженнях, оскільки там немає встановлених систем законів, а також усталених як у фізико-математичних науках правил виведення, проведення суто теоретичних досліджень є вкрай небажаним.

Безпосередні задачі науки: 1) збирання, опис, аналіз, узагальнення і пояснення фактів; 2) виявлення законів розвитку природи, суспільства, мислення і пізнання; 3) систематизація одержаних знань; 4) пояснення сутності явищ і процесів; 5) прогнозування подій, явищ і процесів; 6) встановлення напрямів і форм практичного використання одержаних знань. Структура науки може бути представлена по-різному в залежності від елементів, які її становлять. Так, науку можна розглядати як систему, що складається з теорії; методології, методики і техніки досліджень; практики впровадження отриманих результатів.

Сучасна наука базується на таких постулатах:

- навколишній світ існує об'єктивно (інші світи існують лише суб'єктивно, в уяві людей; інша річ – суб'єктивні образи реального світу, які об'єктивно існують в уяві людей, а тому вивчаються, наприклад, психологією та медициною).

- закони навколишнього світу (природи та суспільства, а не юридичні) є постійними (наприклад, критична маса урану є однаковою в різних точках Землі);

- істинність тверджень науки є відносною, інакше кажучи, твердження є істинними лише для тих умов, для яких вони сформульовані, тому потрібно вказувати часові і територіальні характеристики виявлених нових закономірностей.

Процес розвитку науки знаходить своє вираження не тільки у зростанні «суми» накопичених позитивних знань. Він стосується також усієї структури науки. На кожному історичному етапі наукове пізнання використовує певну сукупність пізнавальних форм – фундаментальних категорій і понять, методів, принципів і схем пояснення, тобто всього того, що поєднують поняттям стилю мислення. Наприклад, для античного стилю мислення характерним було *спостереження* як основний спосіб одержання знання; наука нового часу спирається на *експеримент* і на панування аналітичного підходу, що спрямовує мислення до пошуку найпростіших, які далі не розкладаються, першоелементів досліджуваної реальності. Сучасна наука характеризується прагненням до *цілісного й багатостороннього охоплення* досліджуваних об'єктів. Однак нагромадження нового матеріалу, що не можна пояснити на основі існуючих схем, змушує шукати нові, інтенсивні шляхи розвитку науки, що іноді приводить до наукових революцій, тобто радикальної зміни основних компонентів змістовної структури науки, до висунення нових принципів пізнання, категорій і методів науки. Чергування екстенсивних і революційних періодів розвитку, характерне як для науки в цілому, так і для окремих її галузей, рано чи пізно знаходить своє вираження також і у відповідних змінах форм організації науки.

Існують думки, що з допомогою нових наукових дисциплін і нової техніки будуть вирішені складні проблеми і протиріччя людського життя. Такі настрої отримали назву *сцієнтиських та техніциських*. Існували різні форми – кібернетичного, генетичного, комп'ютерного сцієнтизму. Західні автори (Бел,

Ростоу) обіцяли суспільство загального процвітання. У 50-60-х рр. XX ст. сцієнтизм виступав як повністю оптимістичні уявлення про сучасне та майбутнє. Останніми роками сцієнтисти поділилися на 2 табори:

1) поміркований, критичний оптимізм або навіть песимізм. Філософи розчарувалися в можливостях науки і техніки, але не бачать рівноцінних їм стимулів і механізмів соціального прогресу.

2) покладають надію на нову хвилю науково-технічного прогресу, на економічні зміни.

Реакцією на сцієнтичні утопії є посилення антитехністичної хвилі. У XX ст створено багато антиутопій: Уелс, Бредбері, Стругацькі, Замятін. В них описані різко критичні образи машинізованого майбутнього, яке ототожнюється з тоталітарною державою, де наука, техніка доведені до досконалості і де подавлені свобода, індивідуальність. В технізованому суспільстві неодмінно виникають проблеми з роботою, люди стають придатками машин, контролюючи їх роботу, або зайняті у сфері обслуговування.

1.2. Проблема класифікації наук

Науки розрізняються за предметом і об'єктом дослідження. Предмет науки – це сторона, якою об'єкт представлений у науці. Об'єкт дослідження – це сторона реальності, на вивчення якої спрямована дана наука. Кожній науці властиві свої поняття, засоби й методи.

Наука як складна система, що розвивається, постійно породжує нові відносно автономні підсистеми та нові інтегративні зв'язки. Виявлення структури науки в такому аспекті ставить проблему класифікації наук.

Уперше спробу класифікації наук зробив Аристотель. Усе знання, а в античності воно співпадало з філософією, він поділив на теоретичне, практичне і творче. Теоретичне – на метафізику (філософію) як знання про причини і начала всього сущого, математику і фізику, яка вивчає стан тіл в

природі. Створену ним формальну логіку Аристотель не ототожнював з філософією, а вважав знаряддям пізнання.

Подібні спроби належать Бекону, Гегелю. Основоположник позитивізму О. Конт запропонував свою класифікацію, застосувавши критерій складності: математика (у тому числі й механіка), астрономія, фізика, хімія, фізіологія (у тому числі й психологія), соціологія. Ф. Енгельс, ґрунтуючись на нових відкриттях у природознавстві, за критерій узяв форми руху матерії та поділив науки так: механіка, фізика, хімія, біологія, наука про суспільство. У сучасній методології у зв'язку з новими відкриттями у природознавстві розрізняють шість основних форм матерії: субатомно-фізичну, хімічну, молекулярно-фізичну, геологічну, біологічну і соціальну. Класифікація форм руху є основою для класифікації наук.

Сучасна наука складається з різних галузей знань, які взаємодіють і в той же час мають відносну самостійність. За предметом і методом пізнання можна виділити:

- природничі знання;
- суспільствознавство (гуманітарні і соціальні науки);
- науки про саме пізнання (логіка, гносеологія, епістемологія);
- технічне.

Природничі науки вивчають поведінку об'єктів навколишнього світу. Суспільні науки мають справу з поведінкою людини й суспільних інститутів. Кожна група наук може бути поділена на більш конкретні науки.

Окрему групу складають технічні науки. Технічне знання визначається як самостійна галузь наукового знання, у розвиненої системи технічних наук є свої фундаментальні та прикладні дослідження. У технічних наук свій специфічний об'єкт досліджень – техніка і технологія як сфера штучного, створеного людиною та існуючого завдяки діяльності людини. Технічні науки мають свої теоретичні принципи, методи досліджень, ідеалізовані об'єкти.

Особливою наукою є математика. На думку деяких учених, вона не належить до природничих наук, а є важливим елементом мислення.

За відношенням до практики науки поділяються на фундаментальні й прикладні.

Термін “фундаментальна наука” свідчить про те, що йдеться про відкриття законів, закономірностей у природі та суспільстві. Прикладне знання – це знання, яке базується на фундаментальних законах і безпосередньо пов'язане із задоволенням життєвих потреб людини, суспільства, держави.

Мета прикладних наук – застосування результатів фундаментальних наук для вирішення не тільки пізнавальних, але й соціально-практичних проблем. Тому тут критерієм успіху служить не тільки досягнення істини, але й міра задоволення соціального замовлення. На стику прикладних наук і практики розвивається особлива область досліджень – розробки, що переводять результати прикладних наук у форму технологічних процесів, конструкцій, промислових матеріалів і т.п. [2].

На сьогодні немає чіткої класифікації науки і наукових досліджень. Найбільш ґрунтовно класифіковане природниче знання, хоча і тут багато дискусійних моментів [3].

1.3. Науково-технічна політика в Україні

Державна науково-технічна політика – система цілей, напрямків, способів і форм впливу держави на отримання нових наукових результатів, створення й освоєння нової техніки й технологій.

Україна в спадок від колишнього СРСР зберегла потужну науку світового рівня, яка після проголошення незалежності України, однак, ніколи де-факто не належала до державних пріоритетів і виживала насамперед завдяки ентузіазмові й заповзятливості самих учених. Єдиний орган, відповідальний за вироблення й здійснення політики в сфері науки, технологій та інновацій у національному масштабі (Національна рада України з питань

розвитку науки і технологій) був створений тільки наприкінці 2015 р. після прийняття Верховною Радою України закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність». Призначення Національної ради України з питань розвитку науки і технологій – формувати державну політику в наукових дослідженнях, яка буде стосуватися інтеграції науки і освіти. Планується створювати якісно нові інфраструктурні підрозділи, науково-інноваційні екосистеми за кращими зразками, інтегрувати академічні інститути і університети, відкривати спільні магістерські і докторські програми.

Законодавство України щодо наукової і науково-технічної діяльності складається із Закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність» [4] та інших нормативно-правових актів, що регулюють відносини у процесі провадження такої діяльності, та міжнародних договорів України, згода на обов’язковість яких надана Верховною Радою України. Цими документами регулюються відносини, пов’язані з провадженням наукової і науково-технічної діяльності, та створюються умови для підвищення ефективності наукових досліджень і використання їх результатів для забезпечення розвитку всіх сфер суспільного життя.

В Україні діють наукові установи державної, комунальної та приватної форм власності, які мають рівні права у здійсненні наукової, науково-технічної та інших видів діяльності.

Основною структурною одиницею наукової установи є науковий підрозділ. Для вирішення окремих завдань можуть утворюватися тимчасові наукові (творчі) колективи.

За статистичними даними, за останні 10 років кількість наукових установ України скоротилася в півтора рази. За даними Державної служби статистики України, у 2014 р. кількість організацій, що здійснювали наукову і науково-технічну діяльність, становила 999 одиниць. Розподіл таких організацій за секторами науки показує, що найбільша кількість наукових установ належить до галузевого (473 установи) та академічного сектору (312 установ). В секторі вищої освіти працюють 158 установ, у заводському секторі

– 56. Тенденція щорічного зниження кількості організацій, що здійснюють науково-технічну діяльність (рис. 1.1), супроводжується збереженням незмінної структури їх розподілу за галузями наук: найбільші частки припадають на технічні (40,3 %) і природничі науки (35,4 %), найменша частка – на гуманітарні науки (4,4 %) (рис. 1.2) [5].

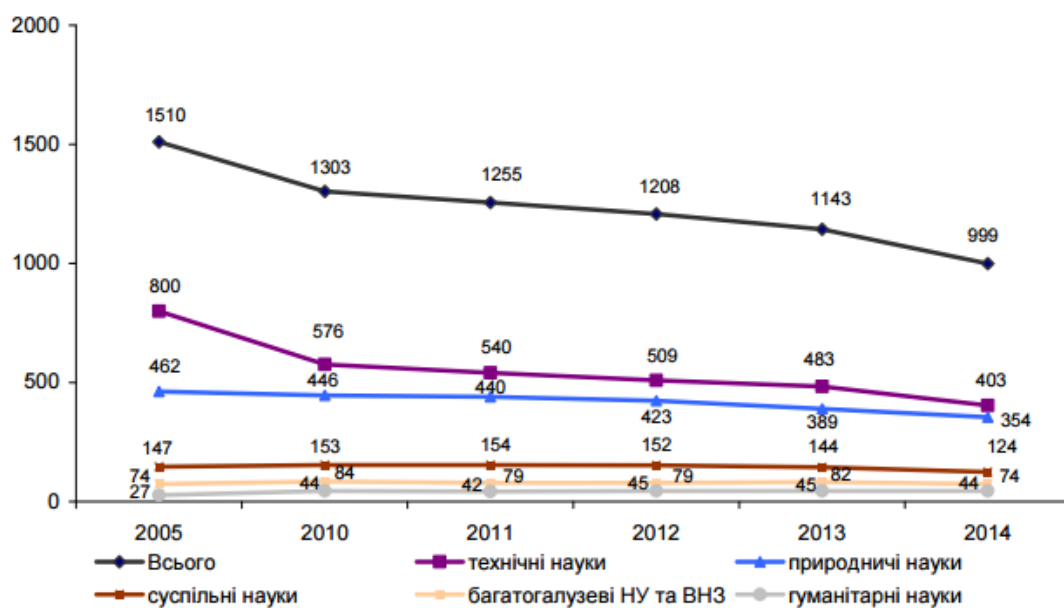


Рис. 1.1. Динаміка кількості організацій, що здійснювали наукову і науково-технічну діяльність, за галузями наук, од.

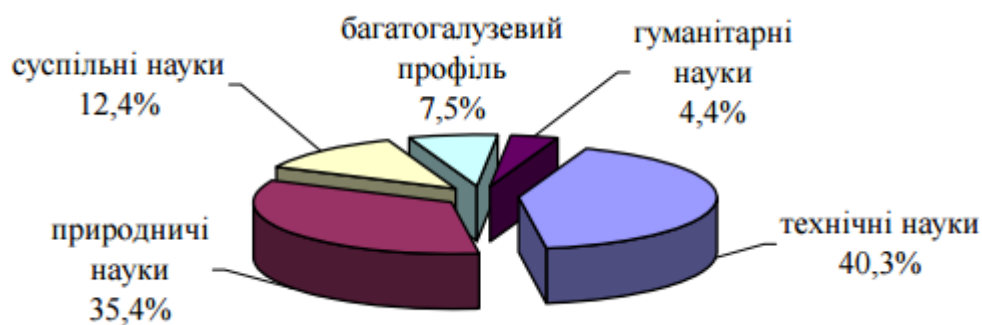


Рис. 1.2. Розподіл організацій за галузями наук у 2014 р., %

Останнім часом в Україні спостерігається тенденція до зменшення обсягів фінансування науки, зокрема знижується частка державного фінансування (Україна сумарно витрачає на дослідження у 500 разів менше

коштів, ніж США, і в 30 разів менше, ніж Росія). У середньому розвинені країни витрачають близько 0,5% валового внутрішнього продукту (ВВП) на фундаментальні дослідження. Найбільшу частку ВВП інвестує в науковий прогрес Швейцарія — 0,9%. Однак безпосередній зв'язок з інноваціями має прикладна наука. Саме тому розвинені країни світу, зберігаючи і розвиваючи фундаментальні (базисні) дослідження, роблять акцент на інтенсивний розвиток прикладних досліджень, безпосередньо орієнтованих на інновації.

В цілому витрати на науку в Україні в 2015 р. становили 4,2 мільярди гривень, що складає 0,25 % від ВВП (це найнижчий показник у Європі). Із цієї суми 60 відсотків припадає на систему Національної академії наук і 10 відсотків – на всі українські університети разом взяті. Для порівняння: кошти одного найменшого європейського університету, які витрачаються на науку, більші, ніж витрачаються в усій нашій державі. В Польщі витрачається 5 мільярдів доларів США, в Росії – 20, Китаї – 80 і США – 350. Відтак за відсутності продуманих державних кроків українську науку (принаймні її природничу і технічну сфери) може очікувати занепад. Сподіватися на те, що цю науку пощастить підняти «з нуля» — наївно (Туреччина, Ірландія, Бразилія та ін. країни вкладають у розвиток своєї науки величезні за українськими мірками кошти — але ще не досягли навіть сьогоденішнього українського рівня). Це небезпека середньострокового періоду — і відповісти на неї держава зможе лишень поступовим, але відчутним збільшенням фінансування (що знову зробить наукову працю привабливою й уможливить масовий прихід у науку талановитої молоді), а також створенням реальних стимулів і механізмів сприяння інноваційній діяльності. Щоб змінити ситуацію на краще, Верховною Радою України ухвалено закон «Про наукову і науково-технічну діяльність» [5], в якому зазначено, що «Держава забезпечує бюджетне фінансування наукової і науково-технічної діяльності у розмірі не менше 1,7 відсотка валового внутрішнього продукту України... Видатки на наукову і науково-технічну діяльність за рахунок державного бюджету є захищеними статтями видатків бюджету».

А поки спостерігається падіння престижу наукової праці і «вимивання» з науки талановитої молоді (позбавлена можливості самореалізації й забезпечення гідних життєвих стандартів, вона емігрує або переходить в інші сфери діяльності). Як наслідок, сумарна кількість науковців в Україні після 1991 року скоротилася понад удвічі, а за основними природничо-науковими й технологічними напрямками — у 3–5 разів (при цьому суттєво зросла кількість економістів і правників, що, на жаль, поки не позначається позитивно на рівні національної економіки чи правової культури держави й суспільства) [6]. Однак протягом 2010 – 2014 рр. спостерігається тенденція зниження питомої ваги вікової групи від 50 до 59 років та зростання питомої ваги вікової групи 30–39 років (рис. 1.3).

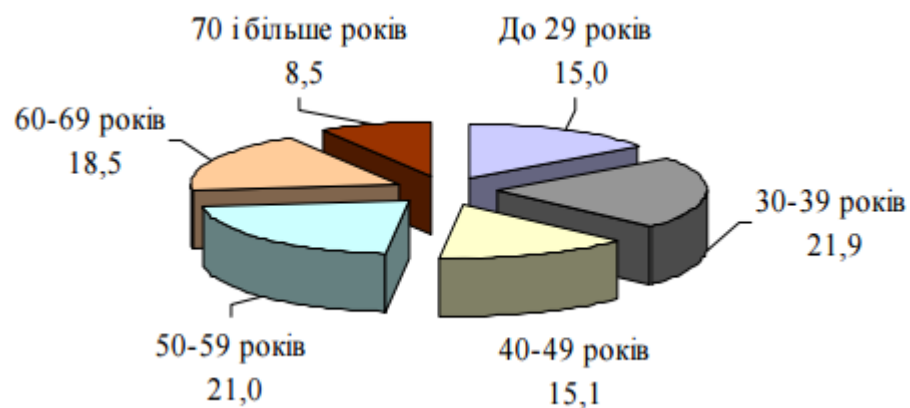


Рис. 1.3. Розподіл дослідників за віковими групами у 2014 р., %

Найбільша кількість виконавців наукових досліджень і розробок припадає на галузі технічних (48,9% від загальної кількості виконавців) і природничих наук (37,1%) [5].

Незважаючи на всі складності, Україна за низкою напрямків (матеріалознавство, математика, комп'ютерні науки, радіоастрономія, теоретична фізика, біофізика, молекулярна біологія тощо) все ще посідає гідні позиції у світовому розподілі наукової праці. Це демонструє участь українських учених у важливих міжнародних проектах: українські фізики побудували один з чотирьох детекторів Великого адронного колайдеру;

українські теоретики В. Гусинін та С. Шарапов зробили важливі доповнення до «проривних» робіт нобелівських лауреатів з фізики 2010 року А. Гейма та К. Новосьолова, які отримали й дослідили унікальний двовимірний матеріал графен; математики працюють у провідних лабораторіях світу задля впровадження нових методів зберігання й обробки інформації.

Об'єктивно найцінніше, що має Україна сьогодні в науковій сфері, — це достатньо високий рівень фундаментальних досліджень за досить широким переліком наукових напрямів, які залишають надію і на розробку в майбутньому успішних технологій, а заодно забезпечують той рівень освіченості суспільства, який ще тримає Україну в верхній половині списку за Індексом людського розвитку ООН [7].

Ситуацію в українській науці рятує традиційна стабільність у головній науковій організації держави — Національній академії наук України, яку від 27 лютого 1962 року незмінно очолює Борис Євгенович Патон. Навіть на тлі постійного фактичного скорочення бюджету (через інфляцію і зростання цін на комунальні витрати), академія продовжує продукувати висококласні наукові результати, витрачаючи на одну роботу, надруковану в міжнародних реферованих журналах, на порядок менше коштів, ніж аналогічні інституції Європейського Союзу і США. Однак ця сьогоднішня стабільність НАН (досягнута всупереч складним зовнішнім обставинам) аж ніяк не є гарантією виживання української науки в майбутньому, адже традиційною проблемою в Україні була й залишається відсутність міцних зв'язків науки з бізнесом. Якщо зростання ВВП за рахунок введення нових технологій у розвинутих країнах становить 60–90%, то в Україні ця величина не перевищує 1% [8]. Є і більш оптимістичні експертні оцінки, однак і в них частка інноваційного продукту в національному ВВП коливається в межах від 2 до 8%. При цьому українська наука готова дати національній економіці значно більше, ніж ця економіка може від науки взяти.

Про системну політику підтримки інновацій в Україні говорити складно. Фіскальні відомства впродовж останніх років нищили навіть окремі успішні

осередки інноваційності (наприклад, технопарки, які вельми успішно стартували на початку 2000-х, але які були поставлені на межу виживання змінами законодавства середини минулого десятиліття, і «добиті» ухваленням Податкового кодексу в 2010-му).

На жаль, на сьогодні вже спостерігаються спроби послабити НАН України, скорочуючи його фінансування. Об'єктивно «підіграють» урядовцям і політикам, які вважають НАН надто «витратною» й дорогою «іграшкою» для сьогоденної України, і ті критики, які (іноді доволі справедливо) закидають керівництву академії надмірну консервативність і бажання зберегти недоторканною академічну систему організації науки (в чистому вигляді не притаманну для жодної з провідних наукових держав Заходу; хоч установи, аналогічні за функціями до НАН, успішно діють у Німеччині, Франції та інших країнах) [8].

За законом, фінансове забезпечення наукової і науково-технічної діяльності в Україні здійснюється за рахунок коштів державного та місцевих бюджетів, коштів установ, організацій та підприємств, вітчизняних та іноземних замовників робіт, грантів, інших джерел, не заборонених законом.

Обсяг фінансування наукової і науково-технічної діяльності в Україні за рахунок усіх джерел у 2014 р. становив 10320,33 млн. грн., у тому числі за рахунок державного бюджету – 4057,03 млн. грн. Частка коштів державного бюджету у загальному обсязі фінансування становила 39,3% [5](рис. 1.4).

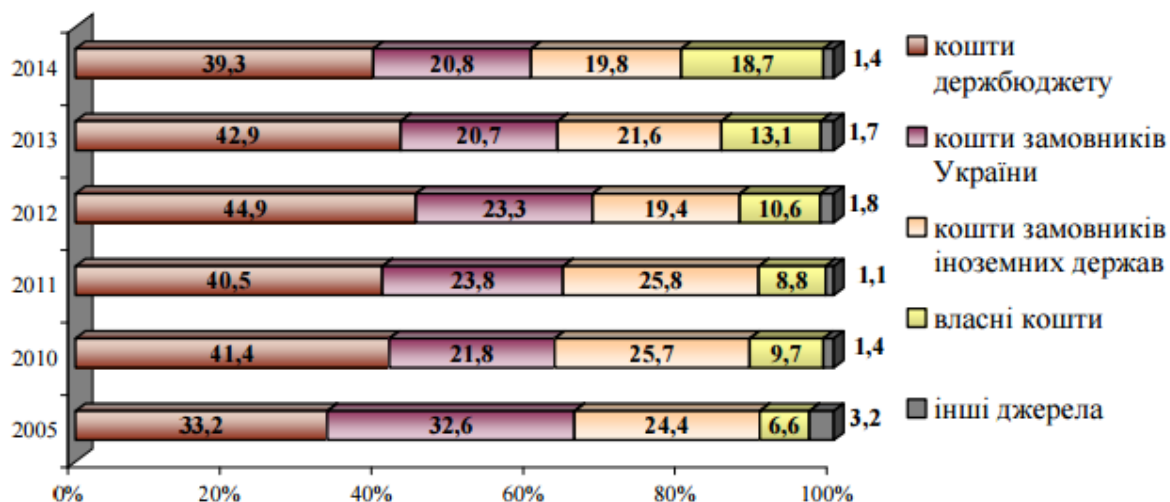


Рис. 1.4. Динаміка структури фінансування наукової і науково-технічної діяльності за джерелами, %

У структурі розподілу витрат за галузями наук найбільшу питому вагу мають технічні науки (майже 58%), у той час як частка фінансування з державного бюджету у загальному обсязі витрат на цю галузь становить 14,6%. Найбільші ж частки бюджетних коштів у загальному обсязі витрат на галузь припадають на гуманітарні та суспільні науки (відповідно майже 96% та 90%).

Спрямування бюджетних коштів у виробництво транспортних засобів сприяло тому, що у 2014 р. бюджетне фінансування інноваційної діяльності промислових підприємств високотехнологічного сектору значно зросло – майже у 3 рази порівняно з 2013 роком. Основна сума цих коштів спрямована на виробництво повітряних і космічних літальних апаратів, супутнього устаткування (96,9%).

За технологічними секторами найбільша частка власних коштів припадала на підприємства низькотехнологічного сектору – 48,4% від загального обсягу власних коштів.

У 2014 році частка фінансування інноваційної діяльності за рахунок кредитів збільшилася з 6,6% до 7,3%. Але в той же час на одне підприємство в середньому у 2014 р. припадало 0,46 млн. грн. кредитних коштів. За рахунок

кредитів здійснювали інноваційну діяльність, в основному, підприємства з виробництва харчових продуктів – 66,0% від загального обсягу фінансування інноваційної діяльності за рахунок кредитів; виробництва гумових і пластмасових виробів – 11,0%; виробництва напоїв – 5,9%; виробництва меблів – 3,9%; виробництва основних фармацевтичних продуктів і фармацевтичних препаратів – 3,4% або 19,2 млн. грн.

Частка коштів іноземних інвесторів у 2014 р. становила 1,8% від загальної суми виділених на інновації коштів. На одне інноваційне підприємство у середньому було виділено 0,11 млн. грн. у 2014 р. (0,94 млн. грн. у 2013 р.).

Для здійснення нововведень у 2014 році 154 підприємства придбали нові технології (в Україні та за її межами), з них 54 підприємства придбали технології за кордоном. Найактивнішими щодо придбання технологій були підприємства машинобудування, ремонту та монтажу машин і устаткування, які становили 27,8% від загальної кількості промислових підприємств України, що придбали технології; із виробництва харчових продуктів, напоїв – 23,9%; хімічної і нафтохімічної промисловості – 12,0%; із виробництва та розподілення електроенергії, газу та води – 7,7%. Частка, що припадає на енергетичну галузь, в основному, це технології пов'язані з нетрадиційними джерелами енергії.

Одним з найважливіших показників ефективності використання бюджетних коштів, спрямованих на фінансування науково-технічних робіт, залишається кількість впровадженої науково-технічної продукції. Рівень впровадження НТП за видами становить: близько 65% методів і теорій, понад 58% нових видів виробів, близько 56% видів техніки, майже 45% технологій. Кількість переданих за кордон у 2014 році нових технологій становила 36 одиниць. При цьому 34 технології за формою придбання – результати досліджень та розробок, 2 – за формою продаж устаткування. За межі України передано 8 технологій, з яких для галузі поліграфічна діяльність, тиражування записаної інформації – 4 нових технології, виробництво харчових продуктів –

2, виробництво інших транспортних засобів – 1, виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції – 1.

1.4. Прогнозування розвитку науки і техніки

Сутність прогнозування полягає у передбаченні можливостей розвитку науки і техніки, підготовці та прискоренні реалізації цих можливостей з тим, щоб якомога раніше використати наукове відкриття. Серед науково-технічних прогнозів особливий інтерес представляють нові методи виробництва енергії, синтез матеріалів із заданими властивостями, перспективи створення штучних і синтетичних кормів, ефективні методи збереження та відновлення природи.

Для розробки прогнозів запрошують групу експертів, з допомогою яких проводиться різноплановий аналіз проблем, що виникають. Існує ряд методів прогнозування, один з них – метод колективних експертних оцінок (метод Дельфі). Цей метод характеризується трьома особливостями: анонімністю, використанням результатів опитування попереднього туру та статистичною обробкою заповнених анкет для оцінки групової відповіді. Кожне представлення на розгляд називається туром опитування.

Проведення опитування проводиться в чотири тури, на кожному з яких керівник групи інформує експертів про результати попередніх турів і просить їх обґрунтувати свою думку. В кожному турі експерт повинен дати оцінку у вигляді числа по заздалегідь узгодженій шкалі. Ці оцінки статистично обробляють: аналізують отриманий числовий ряд, розраховуючи так звані медіани та квартилі. Наприклад, 17 експертів кількісно оцінили проблему, що досліджується. Всі 17 оцінок розташовують в порядку зменшення. Середній член такого ряду називається медіаною, яка ділить ряд таким чином, що кількість оцінок з більшим значенням якої-небудь ознаки і кількість оцінок з меншим його значенням однакова. Потім ряд ділять на чотири рівні частини – квартилі. Припускається, що в середніх квартилях, сусідніх з медіаною, зібрані найкращі оцінки, які й слід приймати до розрахунку. Таким чином, медіана

служить характеристикою групової відповіді, а найкращий діапазон кварталів – показником розкиду індивідуальних оцінок.

Після чергового туру опитування кожному експерту повідомляють величину медіани та розкид оцінок, крайні думки з їх мотивуванням, зберігаючи при цьому принцип анонімності. При бажанні експерти можуть виправляти свої оцінки. Медіана кінцевих відповідей четвертого туру вважається узагальненою думкою групи.

Для оцінки можливих напрямків науково-технічного прогресу тої чи іншої галузі промисловості на першому етапі прогнозування використовують один із розповсюджених методів нормативного прогнозування – дерево цілей (рис. 1.5). В цьому методі галузі розбиваються на так звані рівні:

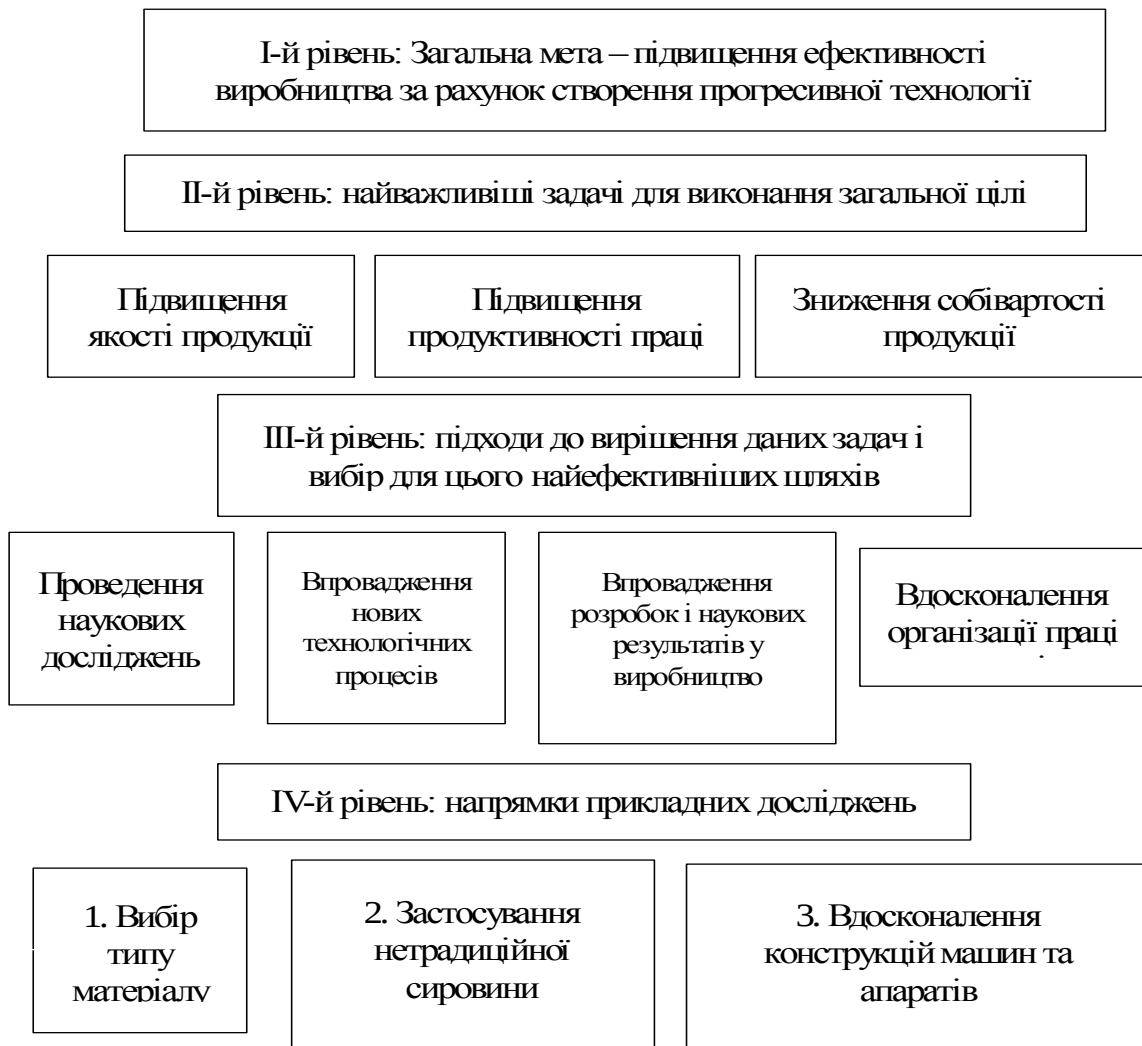


Рис. 1.5. Дерево цілей

Кожна із прогностичних задач дерева цілей на певному рівні вирішується методом експертних оцінок.

1.5. Підготовка науково-педагогічних і наукових кадрів в Україні

Наукова та науково-технічна діяльність у вищих навчальних закладах є невід’ємною складовою освітньої діяльності і проводиться з метою інтеграції наукової, освітньої і виробничої діяльності в системі вищої освіти. Вона проводиться відповідно до законів України ["Про освіту"](#), ["Про вищу освіту"](#) та закону «Про наукову і науково-технічну діяльність». За розвиток науки у розгалуженій системі підпорядкованих йому вищих навчальних закладів безпосередньо відповідає Міністерство освіти і науки України. В ньому створено департамент науково-технічного розвитку, на який покладено функції щодо координації здійснення наукової і науково-технічної діяльності підпорядкованими Міністерству вищими навчальними закладами (ВНЗ) та забезпечення надання понад 140 ВНЗ бюджетної фінансової підтримки на проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень та науково-технічних розробок.

Суб’єктами наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності у ВНЗ є наукові, науково-педагогічні працівники, особи, які навчаються у вищих навчальних закладах, інші працівники вищих навчальних закладів, а також працівники підприємств, які спільно з вищими навчальними закладами проводять наукову, науково-технічну та інноваційну діяльність.

Науково-педагогічні працівники – особи, які за основним місцем роботи у вищих навчальних закладах проводять навчальну, методичну, наукову (науково-технічну, мистецьку) та організаційну діяльність.

Педагогічні працівники – особи, які за основним місцем роботи у вищих навчальних закладах проводять навчальну, методичну та організаційну діяльність.

Наукові працівники – особи, які за основним місцем роботи та відповідно до трудового договору (контракту) професійно здійснюють наукову, науково-технічну або науково-організаційну діяльність та мають відповідну кваліфікацію незалежно від наявності наукового ступеня або вченого звання.

Основними завданнями наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності вищих навчальних закладів є:

- 1) одержання конкурентоспроможних наукових і науково-прикладних результатів;
- 2) застосування нових наукових, науково-технічних знань під час підготовки фахівців з вищою освітою;
- 3) формування сучасного наукового кадрового потенціалу, здатного забезпечити розробку та впровадження інноваційних наукових розробок.

Підготовка фахівців з вищою освітою здійснюється за відповідними освітньо-професійними, освітньо-науковими, науковими програмами і передбачає успішне виконання особою відповідної програми. Здобуття вищої освіти на кожному рівні вищої освіти є підставою для присудження відповідного ступеня вищої освіти (табл.1.1).

Таблиця 1.1.

Рівні і ступені вищої освіти		
Рівень вищої освіти	Кількість кредитів ЄКТС	Ступінь вищої освіти
початковий (короткий цикл)	90-120	молодший бакалавр
перший (бакалаврський)	180-240	бакалавр
другий (магістерський)	90-120 (за освітньо-професійною програмою); 120 (за освітньо-науковою програмою), з них дослідницька (наукова) компонента обсягом не менше 30 %.	магістр

	300-360 (для медичного, фармацевтичного або ветеринарного спрямування)	
третій (освітньо-науковий)	30-60 (обсяг освітньої складової освітньо-наукової програми)	доктор філософії
науковий		доктор наук

Початковий рівень (короткий цикл) вищої освіти відповідає п'ятому кваліфікаційному рівню [Національної рамки кваліфікацій](#) і передбачає здобуття особою загальнокультурної та професійно орієнтованої підготовки, спеціальних умінь і знань, а також певного досвіду їх практичного застосування з метою виконання типових завдань, що передбачені для первинних посад у відповідній галузі професійної діяльності.

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти відповідає шостому кваліфікаційному рівню Національної рамки кваліфікацій і передбачає здобуття особою теоретичних знань та практичних умінь і навичок, достатніх для успішного виконання професійних обов'язків за обраною спеціальністю.

Другий (магістерський) рівень вищої освіти відповідає сьомому кваліфікаційному рівню Національної рамки кваліфікацій і передбачає здобуття особою поглиблених теоретичних та/або практичних знань, умінь, навичок за обраною спеціальністю (чи спеціалізацією), загальних засад методології наукової та/або професійної діяльності, інших компетентностей, достатніх для ефективного виконання завдань інноваційного характеру відповідного рівня професійної діяльності.

Третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти відповідає восьмому кваліфікаційному рівню Національної рамки кваліфікацій і передбачає здобуття особою теоретичних знань, умінь, навичок та інших компетентностей, достатніх для продукування нових ідей, розв'язання комплексних проблем у галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, оволодіння методологією наукової та педагогічної діяльності, а

також проведення власного наукового дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Науковий рівень вищої освіти відповідає дев'ятому кваліфікаційному рівню Національної рамки кваліфікацій і передбачає набуття компетентностей з розроблення і впровадження методології та методики дослідницької роботи, створення нових системоутворюючих знань та/або прогресивних технологій, розв'язання важливої наукової або прикладної проблеми, яка має загальнонаціональне або світове значення.

Таким чином, починаючи з другого рівня вищої освіти, здобувачі займаються науковою або дослідницько-інноваційною діяльністю.

Підготовка науково-педагогічних і наукових кадрів здійснюється відповідно до вимог [Закону України](#) "Про вищу освіту" [1]. Основними формами підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації є аспірантура, ад'юнктура та докторантура.

Доктор філософії – це освітній і водночас перший науковий ступінь, що здобувається на третьому рівні вищої освіти на основі ступеня магістра. Ступінь доктора філософії присуджується спеціалізованою вченою радою вищого навчального закладу або наукової установи в результаті успішного виконання здобувачем вищої освіти відповідної освітньо-наукової програми та публічного захисту дисертації у спеціалізованій вченій раді.

Особа має право здобувати ступінь доктора філософії під час навчання в аспірантурі (ад'юнктурі). Особи, які професійно здійснюють наукову, науково-технічну або науково-педагогічну діяльність за основним місцем роботи, мають право здобувати ступінь доктора філософії поза аспірантурою, зокрема під час перебування у творчій відпустці, за умови успішного виконання відповідної освітньо-наукової програми та публічного захисту дисертації у спеціалізованій вченій раді.

Нормативний строк підготовки доктора філософії в аспірантурі (ад'юнктурі) становить чотири роки.

Наукові установи можуть здійснювати підготовку докторів філософії за власною освітньо-науковою програмою згідно з отриманою ліцензією на відповідну освітню діяльність. Наукові установи можуть також здійснювати підготовку докторів філософії за освітньо-науковою програмою, узгодженою з вищим навчальним закладом. У такому разі наукова складова такої програми здійснюється у науковій установі, а освітня складова – у вищому навчальному закладі.

Доктор наук – це другий науковий ступінь, що здобувається особою на науковому рівні вищої освіти на основі ступеня доктора філософії і передбачає набуття найвищих компетентностей у галузі розроблення і впровадження методології дослідницької роботи, проведення оригінальних досліджень, отримання наукових результатів, які забезпечують розв’язання важливої теоретичної або прикладної проблеми, мають загальнонаціональне або світове значення та опубліковані в наукових виданнях.

Ступінь доктора наук присуджується спеціалізованою вченою радою вищого навчального закладу чи наукової установи за результатами публічного захисту наукових досягнень у вигляді дисертації або опублікованої монографії, або за сукупністю статей, опублікованих у вітчизняних і міжнародних рецензованих фахових виданнях, перелік яких затверджується центральним органом виконавчої влади у сфері освіти і науки.

Присудження наукових ступенів та присвоєння вчених звань є державним визнанням рівня кваліфікації вченого, воно здійснюється відповідно до [Закону України](#) "Про вищу освіту".

Перелік осіб, яким присуджено наукові ступені та присвоєно вчені звання, розміщується у відкритому доступі в мережі Інтернет відповідно до законодавства.

Дисертації осіб, які здобувають ступінь доктора філософії, та дисертації (або наукові доповіді у разі захисту наукових досягнень, опублікованих у вигляді монографії, або сукупності статей, опублікованих у вітчизняних та/або міжнародних рецензованих фахових виданнях) осіб, які здобувають ступінь

доктора наук, а також автореферати та відгуки опонентів оприлюднюються на офіційних веб-сайтах відповідних наукових установ (вищих навчальних закладів) згідно із законодавством.

Вчені звання наукових і науково-педагогічних працівників

Крім права на здобуття наукового ступеня доктора філософії і доктора наук, вчені мають право на присвоєння вчених звань. В Україні присвоюються такі вчені звання:

- 1) старший дослідник;
- 2) доцент;
- 3) професор.

Вчене звання **професора** та **доцента** присвоюється особам, які професійно здійснюють науково-педагогічну або творчу мистецьку діяльність.

Вчене звання **старшого дослідника** присвоюється особам, які професійно здійснюють наукову або науково-технічну діяльність.

Вчене звання професора, доцента, старшого дослідника присвоює вчена рада вищого навчального закладу (вчена рада структурного підрозділу). Право присвоєння вченого звання професора та старшого дослідника надається також вченим (науково-технічним) радам наукових установ. Рішення відповідних вчених рад затверджує атестаційна колегія центрального органу виконавчої влади у сфері освіти і науки у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Наявність відповідного наукового ступеня або вченого звання є кваліфікаційною вимогою для зайняття науковим працівником відповідної посади. Основними посадами *науково-педагогічних* працівників вищих навчальних закладів є:

- 1) керівник (ректор, президент, начальник, директор);
- 2) заступник керівника (проректор, віце-президент, заступник начальника, заступник директора, заступник завідувача), діяльність якого безпосередньо пов'язана з освітнім або науковим процесом;

3) директор (начальник) інституту, його заступники, діяльність яких безпосередньо пов'язана з освітнім або науковим процесом;

4) декан (начальник) факультету, його заступники, діяльність яких безпосередньо пов'язана з освітнім або науковим процесом;

5) директор бібліотеки;

6) завідувач (начальник) кафедри;

7) професор;

8) доцент;

9) старший викладач, викладач, асистент, викладач-стажист;

10) науковий працівник бібліотеки;

11) завідувач аспірантури, докторантури.

Основними посадами *педагогічних* працівників вищих навчальних закладів є:

1) викладач;

2) методист.

Основними посадами *наукових* працівників наукових установ (їхніх філій, інших відокремлених підрозділів), наукових підрозділів юридичних осіб державної та інших форм власності є:

1) керівник (президент, генеральний директор, генеральний конструктор, директор, начальник);

2) заступник керівника (перший віце-президент, віце-президент, заступники генерального директора, генерального конструктора, директора, начальника) з наукової роботи;

3) радник при дирекції наукової установи;

4) член Президії Національної академії наук України або національної галузевої академії наук;

5) радник Президії Національної академії наук України або національної галузевої академії наук;

6) академік – секретар відділення (його заступники);

7) головний учений секретар, учений секретар (їх заступники);

8) керівник (завідувач, відповідальний секретар, головний редактор) та заступники керівника (завідувача, секретаря відповідального головного редактора) наукового підрозділу, наукового видавництва, редакції наукового видання;

9) головний конструктор, головний інженер, головний технолог з основного напрямку діяльності наукової установи, організації, закладу та їх заступники;

10) провідний конструктор, провідний інженер, провідний технолог з основного напрямку діяльності наукової установи, організації, закладу;

11) провідний редактор наукового видавництва, періодичного наукового видання;

12) головний науковий співробітник;

13) провідний науковий співробітник;

14) старший науковий співробітник;

15) науковий співробітник;

16) науковий співробітник-консультант;

17) молодший науковий співробітник;

18) докторант.

Контрольні запитання

1. В чому полягає різниця між інженерними вченнями і наукою?

2. Назвіть задачі, які вирішуються наукою.

3. Чому виникають проблеми при класифікації наук?

4. Які завдання вирішують фундаментальні та прикладні дослідження?

5. Основні принципи державної політики в галузі науково-технічної діяльності.

6. З яких джерел фінансуються наукові дослідження?

7. Які методи використовують для прогнозування розвитку науки і техніки?

8. Хто є суб'єктами наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності у ВНЗ?

9. Як класифікують рівні вищої освіти?

10. Що передбачає здобуття ступеня «доктор філософії»?

11. Завдання наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності, яка виконується у вищих навчальних закладах.

2. СУТНІСТЬ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ТЕХНІЧНОЇ ТВОРЧОСТІ

2.1. Наукове дослідження: визначення та класифікація

Формою існування і розвитку науки є наукове дослідження, а саме наукова (науково-дослідна) діяльність.

Наукове дослідження – це діяльність, направлена на всебічне вивчення об'єкту, процесу або явища, їх структури і зв'язків, а також отримання і впровадження в практику корисних для людини результатів. Його об'єктом є матеріальна або ідеальна системи, а предметом – структура системи, взаємодія її елементів, різні властивості, закономірності розвитку тощо. Наукове дослідження спрямоване на встановлення істотних ознак досліджуваного об'єкта, виявлення його властивостей і особливостей.

Науково-технічна діяльність – діяльність, спрямована на отримання, застосування нових знань для вирішення технологічних, інженерних, економічних, соціальних, гуманітарних та інших проблем, забезпечення функціонування науки, техніки й виробництва як єдиної системи.

Класифікація наукових досліджень

1. По цільовому призначенню

Фундаментальні наукові дослідження – експериментальна або теоретична діяльність, спрямована на отримання нових знань про основні закономірності побудови, функціонування й розвитку людини, суспільства, навколишнього природного середовища. Вони пов'язані з формуванням принципово нових теоретичних проблем, законів і теорій, спрямовані на створення нових принципів. Їх мета – розширити знання суспільства, глибше зрозуміти закони природи.

Прикладні дослідження спрямовані переважно на створення нових методів, застосування нових знань для досягнення практичних цілей і вирішення конкретних завдань. На основі їх результатів розробляється нове обладнання, нові машини і матеріали, засоби виробництва тощо. Вони повинні задовольняти потребу суспільства у розвитку конкретної галузі виробництва.

Прикладні розробки можуть бути довгостроковими або короткостроковими, бюджетними або госпдоговірними.

Експериментальні розробки – діяльність, що базується на знаннях, набутих у результаті проведення наукових досліджень або на основі практичного досвіду, і спрямована на збереження життя й здоров'я людини, створення нових матеріалів, продуктів, процесів, пристроїв, послуг, систем або методів та їхнє подальше вдосконалювання. Мета розробок – перетворювати прикладні (або теоретичні) дослідження у технічні додатки. Кінцева мета розробок, які проводяться у дослідно-конструкторських бюро, проектних, дослідних виробництвах, – підготувати матеріал для впровадження.

Таблиця 2.1.

Послідовність проведення фундаментальних, прикладних досліджень
та розробок

Фундаментальні, прикладні	Розробки
1. Формулювання теми, мети і завдань дослідження	
2. Теоретичні дослідження	2. Вивчення літератури, проведення досліджень (якщо потрібно)
3. Експериментальні дослідження	3. Технічне проектування (розробка варіантів технічного проекту, розробка креслень, техніко-економічне обґрунтування проекту).
4. Аналіз і оформлення наукових досліджень	4. Робоче проектування
5. Впровадження та отримання економічного ефекту	5. Виготовлення дослідного зразка
	6. Доопрацювання дослідного зразка
	7. Державні випробовування

Пошуковими називають наукові дослідження, спрямовані на визначення перспективності роботи над темою, пошук шляхів вирішення наукових завдань.

2. Залежно від джерел фінансування науково-дослідні роботи (НДР) поділяються на: *держбюджетні*, які фінансуються із коштів держбюджету; *госпдоговірні*, які фінансуються у відповідності з угодами, що укладаються між організаціями-замовниками, які використовують НДР в даній галузі, та організаціями, які виконують дослідження; *гранти* і *такі, що не фінансуються*.

Кошти державного бюджету виділяються на:

1) підтримку основної діяльності державних наукових установ, що фінансуються за рахунок коштів державного бюджету, проведення наукових досліджень та науково-технічних (експериментальних) розробок університетів, академій, інститутів;

2) фінансування окремих наукових і науково-технічних програм, проектів та надання грантів (здійснюється на договірних засадах, передбачає проведення конкурсного відбору за результатами наукової і науково-технічної експертизи або процедури закупівлі відповідно до законодавства).

3. За тривалістю розробки НДР поділяють на *довгострокові*, які розробляються протягом декількох років, *короткострокові*, які зазвичай виконуються за 1 рік, і *експрес-дослідження*.

4. Залежно від форм і методів дослідження деякі автори виділяють експериментальне, методичне, описове, експериментально-аналітичне, історико-біографічне дослідження та дослідження змішаного типу.

2.2. Методологія наукових досліджень

Процес наукових досліджень здійснюється завжди за допомогою методів.

Метод дослідження – це сукупність прийомів або операцій, які сприяють вивченню навколишньої дійсності або практичному здійсненню якого-небудь явища чи процесу. Метод, який застосовується у наукових дослідженнях, залежить від характеру об'єкта, що досліджується: наприклад, метод спектрального аналізу використовується для вивчення тіл, що випромінюють, метод вимірювання твердості – для вивчення твердих тіл.

Методи наукового дослідження поділяються на всезагальні, загальнонаукові та конкретно-наукові (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Методи наукового дослідження

До **всезагальних** належать філософські методи: метафізика, еkleктика, софістика, діалектика в її ідеалістичному та матеріалістичному різновидах. Всезагальним науковим методом, основою всієї системи методів пізнання є матеріалістична діалектика з її принципами, законами, категоріями та іншими елементами. Вона визначає сутність дослідження, його ставлення до об'єкту, що вивчається. Діалектика передбачає:

1) вивчення об'єкта в цілому і кожного з його компонентів об'єктивно, тобто такими, якими вони є насправді, незалежно від бажань, прагнень, позицій, поглядів суб'єктів пізнання. Діалектика попереджає про

неприпустимість суб'єктивізму — антинаукової і шкідливої альтернативи об'єктивності пізнання та оцінки результатів діяльності;

2) вивчення об'єкта у розвитку. Вона дає знання джерела розвитку — діалектичних протилежностей і суперечностей; механізму розвитку — кількісних і якісних взаємодій; основних тенденцій розвитку через закон заперечення заперечення;

3) творчі підходи до вивчення об'єкта. Творчість — це завжди творення нового, розв'язання навіть типових завдань нестандартними способами, організація управління виробничим процесом на наукових засадах;

вимагає підходити до вивчення об'єктів, предметів, явищ і процесів у зв'язку їх з усіма іншими об'єктами, предметами, явищами та процесами природи і суспільства. У світі все взаємопов'язано. Діалектика дає знання таких всезагальних зв'язків, які є "сходинками" пізнання та його законами: одиничного, особливого і загального; причини і наслідку; необхідності і випадковості; змісту і форми; сутності і явища; дійсності і можливості; цілого і частини; системи й елемента тощо;

вивчає:

1) об'єкт з урахуванням конкретності істини як синтезу багатьох його визначень і єдності різноманітного. У мисленні конкретне є результатом пізнання і водночас його початковим пунктом. Пізнання починається з конкретного, але знання про нього досягаються через пізнання абстракцій.

2) процес у єдності теорії та практики. Теорія узагальнює практику, показує нові об'єкти, явища і процеси, є основою наукового передбачення тенденцій їхнього розвитку. Завдання теорії виконуються тільки у зв'язку з практикою. Реалізація цього зв'язку неможлива без чіткої координації діяльності науковців, спеціальних наукових колективів і спеціалістів-практиків.

Отже, діалектика як філософський метод — це єдність онтологічного, гносеологічного, логічного і соціологічного компонентів пізнання та практичної дії, всезагальна методологія, логіка і теорія пізнання. На відміну

від неї, загальнонаукові методи можуть застосовуватися за дослідження тільки певних аспектів об'єктів, явищ і процесів. Наприклад, методи аналізу і синтезу використовуються у будь-якому науковому пізнанні, однак за їх допомогою можна вивчати лише окремі риси, властивості, ознаки складних об'єктів. Водночас деякі із загальнонаукових методів, наприклад системний підхід, наближаються за масштабами застосування до всезагального, діалектичного методу. Отже, поняття загальнонауковості неоднозначне [10].

Конкретно-наукові методи дослідження характерні для якої-небудь конкретної галузі знань (метод мічених атомів – у фізиці; метод анкетування – у соціології).

Загальнонаукові. В кожному науковому дослідженні можна виділити 2 основні рівні: 1) емпіричний, на якому відбувається процес чуттєвого сприйняття, встановлення і накопичення фактів; 2) теоретичний, на якому досягається синтез знань, що насамперед проявляється у створенні наукової теорії. У зв'язку з цим загальнонаукові методи дослідження можна поділити на 3 групи:

1. Методи емпіричного рівня дослідження.
2. Методи теоретичного рівня дослідження.
3. Методи емпіричного та теоретичного рівнів дослідження.

На **емпіричному рівні** дослідний об'єкт відображається здебільшого з позицій зовнішніх зв'язків і відносин. Емпіричному пізнанню притаманні збір фактів, первинне узагальнення, опис дослідних даних, систематизація і класифікація. Емпіричне дослідження спрямоване безпосередньо на об'єкт дослідження, воно здійснюється на основі методів порівняння, виміру, спостереження, експерименту тощо. Під емпіричним дослідженням розуміють також практичні аспекти наукової організації, збір емпіричної інформації, осмислення результатів спостереження та експериментів, відкриття емпіричних законів, проведення класифікацій тощо.

Мета емпіричного рівня досліджень:

- описати кожний факт терміном науки, у межах якої ведеться дослідження,
- відібрати з усіх фактів типові;
- класифікувати факти за їх сутністю, з'ясувати наявні зв'язки між відібраними фактами.

Спостереження – цілеспрямоване і організоване сприйняття об'єкта дослідження, яке дозволяє отримати первинний матеріал для його вивчення. В процесі спостереження безпосереднього впливу спостерігача на об'єкт дослідження не відбувається. Через обмеженість людських органів відчуття при спостереженнях широко застосовуються різні прилади та інструменти. При правильному поясненні результатів спостережень вони можуть призвести до великих відкриттів.

Вимірювання – процедура визначення чисельного значення характеристик матеріальних об'єктів, що досліджуються (маси, довжини, швидкості, температури). Вимірювання виконуються з допомогою відповідних вимірювальних приладів і полягають у порівнянні вимірюваної величини з деякою однорідною з нею величиною, прийнятою за еталон. Вимірювання дають досить точні, кількісно визначені описи властивостей тіл. В результаті високоякісних вимірювань можуть бути встановлені факти і зроблені емпіричні відкриття, що призводять до корінної зміни поглядів у певній галузі знань.

Вимірювання з допомогою приладів та інструментів не може бути абсолютно точним, що є одним з проявів діалектичного співвідношення між абсолютною та відносними істинами. Через це велике значення при вимірюваннях надається оцінкам похибок вимірювань.

Експеримент – система операцій, впливів і (або) спостережень, направлених на отримання інформації про об'єкт при дослідних випробуваннях, які можуть здійснюватися у природних та штучних умовах при зміні характеру протікання процесу. Експеримент використовується на кінцевій стадії дослідження і є критерієм вірності теорій та гіпотез. З іншого

боку експеримент у багатьох випадках є джерелом нових теоретичних уявлень, які розвиваються на основі даних проведеного досліду, або законів, які впливають з експерименту. Перевага експериментального вивчення об'єкту порівняно із простим спостереженням полягає в наступному. По-перше, явище можна вивчати в «чистому» вигляді завдяки усуненню побічних факторів; по-друге, експеримент дає можливість вивчати властивості об'єкта в екстремальних умовах (надвисокі та наднизькі тиски та ін.), що дозволяє глибше зрозуміти сутність явищ. Третьою перевагою експерименту є його повторюваність – можливість проведення заданої кількості досліджень. Експерименти можуть бути натурними та модельними. Натурний експеримент вивчає явища і об'єкти у їх природному стані, модельний – моделює ці процеси, дозволяє вивчати ширший діапазон вимірювання певних факторів.

Теоретичний етап дослідження пов'язаний із глибоким аналізом наукових фактів, усвідомленого та зафіксованого мовою науки, проникненням у сутність явищ, формулювання його в кількісній і якісній формі, вибором принципу дії та рекомендацій щодо практичного впливу на ці явища.

Основна задача теоретичного дослідження – досягнення об'єктивної істини.

Методи теоретичного рівня дослідження

Ідеалізація – це мислене створення об'єктів та умов, яких не існує в дійсності і які не можуть бути створені практично. Вона дає можливість позбавити реальні об'єкти деяких властивих їм рис або подумки наділити їх нереальними, гіпотетичними властивостями (абсолютно чорне тіло, ідеальний газ).

Формалізація – це метод вивчення різних об'єктів, при якому основні закономірності явищ та процесів відображуються у знаковій формі, з допомогою формул або спеціальних символів.

Метод *сходження від абстрактного до конкретного* ґрунтується на розумінні конкретного як реального існування об'єктів у багатогранності їх властивостей, зв'язків, відносин та істинного знання про них, а абстрактного –

як мисленого абстрагування від несуттєвого з метою пізнання і виокремлення суттєвого в них. Конкретне і абстрактне — діалектичні протилежності. Наприклад, квантова і релятивістська механіки будуть конкретними відносно класичної механіки, але абстрактними відносно більш розвинутих фізичних теорій.

Структурними компонентами теоретичного пізнання є науковий напрямок, проблема, тема, гіпотеза і теорія.

Під *науковим напрямком* розуміють сферу наукових досліджень наукового колективу, присвячених вирішенню будь-яких великих, фундаментальних теоретично-експериментальних задач у певній галузі науки.

Структурними одиницями напрямку є проблеми, теми та питання.

Проблема – комплекс теоретичних і практичних завдань, необхідність вирішення яких постала перед суспільством. Із соціально-психологічних позицій проблема є відображенням суперечності між потребою в нових знаннях і відомими шляхами їх отримання: проблема виникає тоді, коли людська практика стикається із труднощами або навіть уявною неможливістю досягнення мети. Проблема може бути глобальною, національною, регіональною, галузевою та ін. залежно від завдань, що виникають. Комплексна проблема – це сукупність проблем, об'єднаних однією метою. Проблеми – складні питання, відповіді на які не містяться у накопичених знаннях і не можуть бути отримані шляхом їх перетворення відомими старими методами.

Проблеми виникають не самі по собі, а як наслідок практики, як результат нагальної потреби, та обумовлюються певними умовами розвитку техніки та рівня знань. Як приклад можна назвати проблему надійності машин. На ремонт обладнання направлені величезні матеріальні ресурси, в цій сфері працює більше людей, ніж на основному виробництві. Можливим рішенням цієї проблеми було б підвищення надійності устаткування або створення безремонтних машин (які свій ресурс відпрацьовують без єдиної поломки), що можливо за рахунок впровадження вже широко відомих конструктивних

рішень: автоматичної компенсації зношування, резервування зносостійкості, застосування зносостійких матеріалів тощо.

Проблема надійності машин обумовлена проблемою зношування їх деталей внаслідок тертя в кінематичних парах механізмів. Відомо, що в машинобудуванні втрати, пов'язані з цим, становлять майже 10% національного доходу. Тому в більшості промислово розвинених країн проблема підвищення зносостійкості деталей машин стала державним завданням. Основою для її вирішення може служити якісне підвищення рівня знань, зокрема в такій галузі науки, як трибологія (від грецького слова "трибо" – тертя). У свою чергу, вона спирається на фундаментальні досягнення механіки, фізики, хімії, матеріалознавства та багатьох інших дисциплін. Таким чином, вирішення поставленої життям задачі (саме так перекладається з грецької слово "проблема") вимагає, в кінцевому підсумку, нового способу мислення, заснованого на інтелектуальному підході і системному аналізі явищ.

Не виключено і таке становище, коли проблема об'єктивно існує, але про це невідомо ученим. Наприклад, до відкриття хвороботворних бактерій об'єктивно існувала проблема боротьби з інфекційними захворюваннями. Однак, вона не була відома медикам.

Альберт Ейнштейн говорив: "Наука повинна починатися з фактів і закінчуватися ними, незалежно від того, які теоретичні структури будуються між початком і кінцем".

Будь-яке невідоме починається з відомого і в процесі дослідження невідоме переходить у свою протилежність. У цьому суть процесу пізнання.

Вивчаючи ті чи інші об'єкти, в результаті взаємодії з ними ми, перш за все, збираємо інформацію, аналіз і синтез якої дає нам необхідне знання. Разом з тим у кожному питанні або проблемі існує завжди суперечливе відношення двох видів знань – знання сутності і знання про незнання.

У знанні сутності, зазвичай, шукають відповідь на два питання:

- що спільного в досліджуваного об'єкта з іншими, вже відомими досліднику об'єктами?
- чим відрізняється досліджуваний об'єкт від інших, уже вивчених об'єктів?

Співвідношення цих двох частин знання сутності досліджуваного об'єкта характеризує собою ступінь проблемності дослідження. Математично це поняття може бути представлено наступним співвідношенням:

$$K = x / (x + a)$$

де K – так званий коефіцієнт проблемності;

x – невідоме про об'єкт;

a – відоме про об'єкт.

Якщо $K = 0$, то слід розуміти, що проблема відсутня, а рішення поставленої задачі може здійснюватися інженерними методами, тобто в цьому випадку використовується знайдена раніше теорія. Значення $0 < K < 1$ вказують на існування проблеми. Навряд чи можлива крайність, щоб $K = 1$, тому що важко уявити собі об'єкт, про який нічого не було б відомо (це суперечить сказаному вище про те, що проблема починається з практики). Тому, вкрай важливо на першому етапі дослідження виділити та систематизувати все відоме і невідоме про досліджуваний об'єкт.

Проблеми в буквальному сенсі оточують нас. Одні з них лежать, як кажуть, на поверхні, а інші невидимі, їх треба шукати. Проблеми, як правило, не розділені зручним чином – на технічні, економічні, екологічні, соціальні. В реальному житті все переплетено, тому треба розібратися і зуміти виділити проблеми відповідно до профілю власної підготовки.

Постановка проблеми передбачає організацію дослідження, кінцевою метою якого стало б з'ясування нової закономірності, необхідної для розроблення інженерних методик вирішення виробничих завдань. Здатність постановки проблеми є найяскравішою характеристикою творчого мислення.

Але наявність проблеми не є достатньою підставою для постановки наукових досліджень, тому що не кожна проблема є істинною. Можна виділити наступні критерії для оцінки істинності проблеми:

- неможливість подальшого розвитку практики без вирішення даної проблеми;
- неможливість отримання практикою результатів поставленої проблеми;
- отримання після рішення проблеми результатів, що мають велику практичну значимість.

Таким чином, головним і основним критерієм цінності проблеми є практика. Практика визначає мета наукового дослідження, а вибір мети значною мірою залежить від ставлення до проблеми.

На жаль, в реальному житті ставлення до проблеми неоднозначне. Її можуть визнати, погодитися з її існуванням і залишити проблему в спокої, що найчастіше робиться, або ліквідувати джерело виникнення проблеми. В іншому випадку проблему вирішують частково або докорінно.

Візьмемо, наприклад, проблему екологічної безпеки та забруднень при виробництві теплової та електричної енергії. Ця проблема і соціальна, і технічна, і економічна. Раніше її не розглядали (залишивши у спокої), потім частковим вирішенням цієї проблеми обрали контроль за викидами шкідливих речовин та часткову їх очистку. Але чи можна вирішити проблему, "відловлюючи" частину забруднень на виході? По суті це напівзахід. У той же час добре відомо, що екологічна безпека і кількість забруднень обумовлюється перебігом всіх етапів виробництва – від постачання палива до відпуску тепла та електроенергії споживачам.

В енергетичній галузі промисловості є як *загальні*, так і *галузеві* науково-технічні проблеми. До загальних проблем відносяться: інтенсифікація та оптимізація технологічних процесів, створення прогресивної технології та високопродуктивного обладнання, створення і дослідження систем і засобів автоматизації, створення безвідходних виробництв. Поряд із загальними

проблемами є й специфічні проблеми, характерні для певних частин галузі. Для котельних – можливість використання у котлах різних видів палива, точність дозування палива та ін.

Вивчення проблеми призводить до її розгортання, тобто виникнення і формування додаткових питань. Їх вирішення в підсумку дає відповідь на центральне питання проблеми.

У питаннях виявляються різні аспекти проблеми, які можна представляти як більш дрібні наукові завдання, пов'язані з конкретною галуззю наукового дослідження. При цьому вони можуть у деяких випадках розглядатися як окремі теми досліджень, а іноді і як самостійні проблеми.

Для прикладу розглянемо питання, що входять в проблему діагностування залишкової міцності корпусів та роторів парових турбін. Ця проблема виникла з більш крупної науково-технічної проблеми експлуатаційної надійності машин, про яку говорилося вище. Одним з аспектів цієї фундаментальної проблеми є підпроблеми технічного обслуговування обладнання, до складу яких входить питання про контроль технічного стану машин і агрегатів. Чому питання про контроль технічного стану переросло у цілу проблему діагностування? Тому що виникло протиріччя між *потребою визначення* технічного стану і обсягу необхідного відновлювального ремонту чи регулювання (швидкого, точного і, головне, такого, що не потребує розбирання агрегату або його частин) і *наявністю методів і засобів* контролю.

В умовах швидкого зношування парку устаткування ТЕС та збільшення рівня складності його ремонту, з'ясування причин несправності шляхом повного або часткового розбирання агрегату або його вузлів дорого коштує, малопродуктивне, вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу, а, в окремих випадках, є неможливим.

Отже, потрібна розробка методів і засобів безрозбірної діагностики за непрямыми ознаками і симптомами, що народжує ряд питань. Так виявляється наше незнання як цих симптомів, так і характерних особливостей роботи агрегатів та їх вузлів при погіршенні технічного стану. Виникає ряд аспектів

проблеми діагностування і не тільки технічного, але й організаційного та економічного характеру, наприклад, мінімізації операцій і оснащення приладами для діагностування, місце діагностики в системі планово-попереджувального ремонту обладнання тощо.

З наведеного прикладу видно, як одна проблема переростає в іншу і як ці проблеми "обростають" новими питаннями, відповіді на які призводять до розв'язання більш масштабної проблеми.

Таким чином, проблема складається із ряду тем. *Тема* – це наукова задача, яка охоплює певну галузь наукового дослідження. Вона базується на численних дослідницьких питаннях. Під науковими питаннями розуміють дрібніші наукові завдання, які відносяться до конкретної галузі наукового дослідження. Результати вирішення цих завдань мають не тільки теоретичне, але, головним чином, і практичне значення, оскільки можна порівняно точно встановити очікуваний економічний ефект. Тема є складовою частиною проблеми, і результати дослідження по тій чи іншій темі відповідають на більш вузьке питання, але вони необхідні для вирішення проблеми в цілому.

При розробці теми або питання висувається конкретне завдання у дослідженні – розробити новий матеріал, конструкцію, прогресивну технологію тощо. Вирішення проблем ставить загальнішу задачу – зробити відкриття, вирішити комплекс наукових задач.

Гіпотеза – науково обґрунтована система умовиводів, за допомогою якої на основі ряду фактів робиться висновок про існування об'єкту, зв'язки чи причини явища, достовірність якої в даний момент ще не доведена. В своєму розвитку гіпотеза проходить 3 основні стадії. На етапі емпіричного пізнання відбувається накопичення фактичного матеріалу та висловлювання на його основі деяких припущень. Далі із зроблених припущень розгортається приблизна теорія – формується гіпотеза. На заключному етапі здійснюється перевірка гіпотези, її уточнення. Таким чином, основу перетворення гіпотези на наукову теорію становить практика.

Наукова гіпотеза повинна відповідати наступним вимогам:

1) релевантності, тобто співвіднесення з фактами, на які вона спирається;

2) по можливості бути перевіреною на практиці, співвіднесеною з даними спостереження або експерименту (виняток становлять гіпотези, що не перевіряються);

3) сумісності з існуючим науковим знанням;

4) володіння пояснювальною силою, тобто з гіпотези повинна виводитися деяка кількість фактів, які її підтверджують, наслідків;

5) простоти, тобто вона не повинна містити ніяких довільних допущень, суб'єктивістських нашарувань.

Розрізняють звичайні та математичні гіпотези. У *звичайній* гіпотезі робиться припущення про фізичні властивості об'єкту і здійснюється його математичний опис. Прикладом такої гіпотези є закон Фур'є – основний закон теплопровідності:

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dx} dF d\tau$$

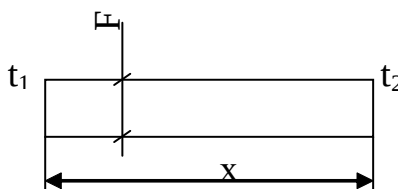


Рис. 2.2. Графічна інтерпретація закону Фур'є

Фур'є першим припустив, що тепловий потік Q у будь-якій точці простору пропорційний градієнту температури $\frac{dt}{dx}$ в цій же точці. В *математичній* гіпотезі спочатку створюється тлумачення отриманих результатів. Для пояснення окремих фактів висувають *робочі* гіпотези.

Теорія являє собою найвищу форму узагальнення і систематизації знань. Вона описує, пояснює і передбачає сукупність явищ у деякій галузі дійсності та приводить відкриті в цій галузі закони до єдиного об'єднуючого початку. Створення теорії базується на результатах, отриманих на емпіричному рівні дослідження. Потім ці результати на теоретичному рівні впорядковуються,

приводяться в струнку систему, об'єднану загальною ідеєю, уточнюються на основі абстракцій, ідеалізацій і принципів, які вводяться в теорію. В подальшому з використанням цих результатів висувається гіпотеза, яка після успішної перевірки практикою стає науковою теорією. Таким чином, на відміну від гіпотези, теорія має об'єктивне обґрунтування.

До нових теорій висувається декілька основних вимог. Наукова теорія повинна бути адекватною об'єкту чи явищу, що описується, тобто повинна правильно їх відтворювати, що дозволяє в певних межах замінити експериментальні дослідження теоретичними. Теорія повинна пояснювати взаємозв'язки між різними компонентами системи, забезпечувати перехід від одних тверджень до інших. Теорія повинна відповідати емпіричним даним, інакше її треба вдосконалювати або відкидати.

В розвитку теорії можуть бути два самостійних етапи: еволюційний, коли теорія зберігає свою якісну визначеність, і революційний, коли здійснюється зміна її основних вихідних початків, компонентів, математичного апарату та методології. По суті цей стрибок – це створення нової теорії. Він здійснюється тоді, коли можливості старої теорії вичерпані.

Теорію з відтінком більшої надійності та достовірності називають законом.

Законом називається теорія, яка володіє великою надійністю і підтверджується численними експериментами. Закон виражає загальні відношення і зв'язки, які характерні для всіх явищ даного роду, класу: він існує незалежно від свідомості людей. Окремі закони діють у певній галузі знань, наприклад закон додавання швидкостей у механіці, другий закон термодинаміки. Загальним законам підкоряється більша група явищ. Прикладом такого закону є закон збереження і перетворення енергії. Всезагальні (універсальні) закони дійсні для всіх галузей знань (закони діалектики).

Наукове дослідження у кожному зі своїх етапів рухається від емпірики до теорії, а від теорії до практики.

Методи емпіричного і теоретичного рівнів дослідження

Аналіз – метод пізнання, який полягає у мисленому чи практичному поділі предмету дослідження або явища на складові простіші частини та виділення його окремих властивостей та зв'язків. Однак аналіз – не кінцева мета дослідження. Коли шляхом аналізу окремі елементи достатньо вивчені, настає наступна стадія пізнання – синтез, який забезпечує розуміння внутрішньої структури об'єкту, характеру його функціонування та закономірностей розвитку.

Синтез – метод пізнання, який полягає у мисленому складанні зв'язків окремих частин складного явища і пізнання цілого у його єдності. Синтез доповнює аналіз і перебуває з ним у постійній єдності. Без вивчення частин не можна пізнати цілого, без вивчення цілого з допомогою синтезу не можна до кінця зрозуміти функції частин в складі цілого.

Прикладом використання методів аналізу і синтезу в теорії теплообміну є вивчення процесу тепловіддачі – перенесення теплоти від одного середовища до іншого при їх безпосередньому контакті. Цей складний процес розкладається на два простих: теплопровідність та конвекцію. Вивчаючи кожен з них поодиночі, формулюючи їх ознаки й основні кількісні залежності, можна зробити висновок про сутність і закономірність процесу тепловіддачі.

Індукція і дедукція – це комплексний метод наукового дослідження, що передбачає мислення від одиничного, окремого, до загального і від загального до окремого, одиничного. Функція індукції у практиці наукового дослідження визначається пізнавальною необхідністю узагальнень із досвіду. Ще Аристотель стверджував, що наука виникає, коли у результаті аналізу досвіду встановлюється один загальний погляд щодо подібних предметів.

Індуктивний метод дослідження від часткового до загального можна з успіхом застосовувати тільки при умові можливостей перевірки отриманих результатів або проведення спеціального контрольного експерименту.

Дедукція – метод переходу від загальних положень до часткових, отримання з відомих істин нових істин з використанням законів та правил логіки.

В якості прикладу дедукції розглянемо диференційне рівняння теплопровідності Фур'є-Кірхгофа, яке при відсутності внутрішніх джерел теплоти та постійних теплофізичних властивостях середовища має вигляд:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right),$$

де t – температура, τ – час, a – коефіцієнт температуропровідності середовища.

З цього загального рівняння, яке є істинним, можуть бути отримані часткові: наприклад, для стаціонарного режиму рівняння теплопровідності приймає вигляд

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0.$$

Індуктивні методи мають важливе значення в науках, де переважають експеримент, його узагальнення, розробка гіпотез. Дедуктивні методи насамперед застосовуються в теоретичних науках.

Моделювання – метод наукового пізнання, який полягає в заміні при дослідженні предмету або явища, що вивчається, спеціальною моделлю, яка відтворює головні особливості оригіналу, та її наступне дослідження. Таким чином, при моделюванні експеримент проводять на моделі, а результати дослідження з допомогою спеціальних методів розповсюджують на оригінал.

Моделі можуть бути фізичними та математичними, в зв'язку з чим розрізняють фізичне і математичне моделювання. При фізичному моделюванні модель і оригінал мають однакову фізичну природу; будь-яка експериментальна установка є фізичною моделлю певного процесу. Створення експериментальних установок і узагальнення результатів фізичного експерименту здійснюється на основі теорії подібності, яка дозволяє переносити результати модельних досліджень на оригінал. При математичному моделюванні модель і оригінал можуть мати однакову і різну

фізичну природу. В першому випадку явище або процес досліджують на основі їх математичної моделі, яка представляє собою систему рівнянь з відповідними умовами однозначності; у другому – використовують факт однакового по зовнішній формі математичного опису явищ різної фізичної природи.

Характерною особливістю та перевагою методу математичного моделювання є можливість його застосування до окремих ділянок складної системи, яка досліджується, а також можливість кількісно досліджувати явища, які важко вивчати на фізичних моделях.

Ще одним з важливих загальнонаукових методів пізнання є абстрагування. *Абстрагування* – це метод відволікання від деяких властивостей та відношень об'єкта й одночасно зосередження основної уваги на тих властивостях та відношеннях, які є безпосереднім предметом наукового дослідження. Абстрагування сприяє проникненню пізнання у сутність явищ, руху пізнання від явища до сутності, розчленовує, огрублює, схематизує цілісну рухому дійсність. Саме це і забезпечує більш глибоке вивчення окремих сторін предмета "в чистому вигляді" і тим самим проникнення в їхню сутність. Однобічність абстрагування знімається розвитком пізнання в цілому, де абстракція є лише моментом і зникає в процесі відображення дійсності в її діалектичних взаємозв'язках та розвитку.

Аналогія – метод наукового дослідження, коли знання про невідомі предмети та явища досягаються на основі порівняння із загальними ознаками предметів і явищ, які досліднику відомі.

Сутність висновку по аналогії полягає в наступному. Нехай явище А має ознаки $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n, X_{n+1}$, а явище В – ознаки $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$. З цього можна передбачити, що явище В теж має ознаку X_{n+1} . Такий висновок носить імовірнісний характер.

2.3. Методи планування наукових досліджень

Планування наукових досліджень передбачає визначення основних умов виконання науково-дослідних робіт: мета, завдання, об'єм, витрати, строки виконання, виконавців, очікувані результати та ін.

При плануванні наукових досліджень або дослідно-конструкторських розробок (ДКР) часто треба із декількох варіантів вибрати найбільш раціональний. Для порівняльної оцінки різних варіантів рішень є кілька методів. Найчастіше для цього застосовуються ранжирування та метод безпосередньої оцінки.

Ранжирування – процедура встановлення відносної значущості досліджуваних об'єктів на основі їх упорядкування. Ранг – це показник, який характеризує місце об'єкта, що досліджується, у групі інших об'єктів. При ранжируванні експерт повинен розташувати планові варіанти (альтернативи або які-небудь фактори) в тому порядку, який він вважає найраціональнішим, і приписати кожному з них числа натурального ряду – ранги. При цьому ранг 1 отримує найкраща, на його думку, альтернатива, а найбільший ранг – найгірша [11].

У випадках, коли ранжирування проводиться декількома експертами, зазвичай спочатку для кожного фактора розраховують суму рангів, отриману від усіх експертів, а потім, виходячи з цієї величини, встановлюють результуючий ранг для кожного об'єкту. Найвищий (I) ранг присвоюють об'єкту чи фактору, який отримав найменшу суму рангів.

Уявимо, що 3 експерти (E1, E2, E3) повинні проранжувати три основні фактори, які впливають на вибір планового варіанту виробництва якого-небудь продукту, і що цими факторами є очікуваний прибуток, строк виконання та технічна новизна. Кожному з цих факторів експерти присвоїли у відповідності зі своїми уявленнями про їх значущість ранги (табл. 2.2).

Таблиця 2.2.

Планування наукових досліджень методом ранжирування

Експерт	Фактор		
	Очікуваний прибуток	Строк виконання	Технічна новизна
E1	2	3	1
E2	1	3	2
E3	3	2	1
Сума рангів	6	8	4
Результуючий ранг	II	III	I

Практика показує, що кількість факторів або об'єктів, для яких потрібно визначити ранг, повинна бути в межах від 7 до 20. Ранг визначає лише місце, яке займає об'єкт. Щоб визначити кількісні величини значущості даного фактору, ранжирування застосовується у поєднанні з іншими методами, наприклад, методом безпосередньої оцінки.

Найпростішим випадком безпосередньої оцінки є відповідь “так” чи “ні”, яку повинен дати експерт на запитання анкети. Може бути задана трьохступенева шкала (наприклад “дуже важливо”, “важливо”, “не має значення”). Ці якісні судження експерта оцінюються по шкалі з допомогою чисел (балів). Застосування різних шкал та методів для вимірювання інформації повинно ґрунтуватися на деяких формальних правилах, які дають можливість уникнути протиріч у системі оцінок:

- 1). Сума оцінок, приписаних певному ряду факторів, які виключають один одного, повинна дорівнювати 1.
- 2). Оцінка, що приписується фактору, повинна бути числом в інтервалі між 0 та 1.

Для полегшення розрахунків на практиці сума оцінок для ряду подій може бути прийнята рівною не тільки 1, але й іншому числу. В таких випадках для виконання правил приписування оцінок можна провести їх нормування.

Для цього всі оцінки додаються, а потім кожна з них ділиться на отриману суму.

Припустимо, що для порівняння чотирьох цілей плану $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ експерт оцінив їх значущість так: $W_1=9, W_2=8, W_3=4, W_4=3$. Сума оцінок буде

дорівнювати: $\sum_{i=1}^4 W_i = 9+8+4+3=24$. Нормовані величини оцінок дорівнюватимуть: $W_{41}=9/24, W_{42}=8/24, W_{43}=4/24, W_{44}=3/24$. Сума нормованих оцінок завжди дорівнює 1, а кожна з них – число в інтервалі між 0 та 1.

У випадках, коли група з декількох експертів оцінює ряд факторів, для знаходження усередненої оцінки кожного фактору рекомендується така методика:

1. Складається матриця “експерти–фактори”, в якій проставляються отримані від кожного експерта оцінки факторів по шкалі від 0 до 10 (табл.2.3).

Таблиця 2.3.

Матриця “експерти–фактори”

Експерт	Фактор					
	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	Φ_6
E1	10	7	9	3	4	5
E2	8	6	10	4	2	7

2. Розраховується відносна значущість (W_{ij}) всіх факторів окремо для кожного експерта (дані нормуються):

$$W_{11}=10/38$$

$$W_{21}=8/37$$

$$W_{12}=7/38$$

$$W_{22}=6/37$$

$$W_{13}=9/38$$

$$W_{23}=10/37$$

$$W_{14}=3/38$$

$$W_{24}=4/37$$

$$W_{15}=4/38$$

$$W_{25}=2/37$$

$$W_{16}=5/38$$

$$W_{26}=7/37$$

3. Розраховується усереднена оцінка всіх експертів кожного фактору. Для цього нормовані оцінки, отримані на попередньому кроці, додаються (по

горизонталі), а потім розраховується середнє арифметичне для кожного фактору:

$$\begin{aligned}\frac{W_{11} + W_{21}}{2} &= \frac{10/38 + 8/37}{2} = 0.240, & \frac{W_{12} + W_{22}}{2} &= \frac{7/38 + 6/37}{2} = 0.173 \\ \frac{W_{13} + W_{23}}{2} &= \frac{9/38 + 10/37}{2} = 0.254, & \frac{W_{14} + W_{24}}{2} &= \frac{3/38 + 4/37}{2} = 0.093 \\ \frac{W_{15} + W_{25}}{2} &= \frac{4/38 + 2/37}{2} = 0.080, & \frac{W_{16} + W_{26}}{2} &= \frac{5/38 + 7/37}{2} = 0.16\end{aligned}$$

2.4. Ефективність наукових досліджень та її критерії

Ефективність наукових досліджень може бути різною:

- економічна ефективність (зростання доходу, підвищення продуктивності праці, якості продукції, зниження витрат на наукові дослідження);
- соціально-економічна ефективність (ліквідація важкої праці, покращення санітарно-гігієнічних умов праці, захист навколишнього середовища від забруднень);
- підвищення обороноздатності країни.

У світовій практиці прийнято вважати, що прибуток від капіталовкладень у науку набагато перевищує прибуток інших галузей. Згідно даних закордонних економістів, на 1 долар витрат на науку прибуток на рік складає від 4 до 7 доларів і більше. Наука коштує суспільству все дорожче. На неї у розвинених країнах витрачають величезні кошти. Тому в економіці науки виникає проблема – систематичне зниження безпосередніх витрат на дослідження при збільшенні ефекту при їх впровадженні. Через це під ефективністю наукових досліджень розуміють також по можливості економніше проведення НДР.

Підвищення ефективності наукових досліджень у колективі може бути досягнуте різними способами: покращення планування й організації НДР; ефективніше використання обладнання; матеріальне стимулювання

наукової праці; покращення психологічного клімату в науковому колективі тощо.

Для оцінки ефективності досліджень застосовують різні критерії, які характеризують ступінь їх результативності.

Фундаментальні дослідження починають давати віддачу лише через значний період після початку розробки. Зазвичай їх результати широко застосовують у різних галузях. Фундаментальні теоретичні дослідження важко оцінити кількісними критеріями ефективності. Зазвичай можна встановити тільки якісні критерії: можливість широкого застосування результатів дослідження у різних галузях народного господарства; новизна явищ, яка дає великий поштовх для принципового розвитку найактуальніших досліджень, істотний внесок у обороноздатність країни; галузь, де можуть початися прикладні дослідження, фундаментальні монографії по темі та використання цитат з них вченими різних країн.

Простіше оцінити ефективність прикладних досліджень та розробок. В цьому випадку застосовують різні кількісні критерії.

Про ефективність будь-яких досліджень можна судити лише після їх завершення та впровадження, тобто тоді, коли вони починають давати віддачу. Велике значення набуває фактор часу. Тому тривалість розробки прикладних тем по можливості повинна бути якомога коротшою. Кращим є такий варіант, коли тривалість їх розробки не перевищує 3-х років.

Ефективність дослідження колективу (відділу, кафедри, лабораторії, НДІ, ВНЗ) і одного окремого працівника оцінюється по-різному.

Ефективність роботи наукового працівника оцінюють такими критеріями: публікаційним, економічним, новизною розробок, цитованістю робіт. Публікаційний критерій – сумарна кількість друкованих праць, їх загальний об'єм у друкованих аркушах, кількість монографій, навчальних посібників. Цей критерій не завжди об'єктивно характеризує ефективність наукового співробітника. Можуть бути випадки, коли при меншій кількості друкованих праць віддача значно більша, ніж від великої кількості дрібних

друкованих праць. Економічну оцінку роботи окремого наукового співробітника застосовують рідко. Найчастіше в якості економічного критерію використовують показник продуктивності праці або виробіток у тис. грн. кошторисної вартості НДР. Критерій новизни НДР – це кількість отриманих патентів. Критерій цитованості праць вченого представляє собою кількість посилань на його друковані праці (Н-індекс, або індекс Гірша).

Ефективність роботи науково-дослідної групи або організації оцінюють кількома критеріями: продуктивністю праці, кількістю впроваджених тем, економічною ефективністю від впроваджених НДР та ДКР, загальним економічним ефектом, кількістю отриманих патентів, кількістю проданих ліцензій.

Критерій продуктивності праці визначають так: $K_n = \frac{C_0}{P}$, де C_0 – загальна кошторисна вартість НДР та ДКР, тис. грн; P – середньоспискова кількість робітників основного і допоміжного персоналу відділу, кафедри, лабораторії або НДІ. Зазвичай K_n розраховують за рік.

Критерій впровадження K_e закінчених тем встановлюють наприкінці календарного року додаванням закінчених робіт m_v . Відносний критерій

впровадження закінчених тем розраховують так: $K_e = \frac{m_v}{m}$, де m – загальна кількість тем, що розробляються.

Критерій економічної ефективності розраховують по загальній структурній формулі: $K_e = \frac{E}{B}$. Тут E – економічний ефект від впровадження теми, B – витрати на її виконання і впровадження, тис. грн. Економічний ефект від впровадження є основним показником ефективності наукових досліджень.

Рівень новизни прикладних досліджень і розробок колективу характеризують критерієм K_n , тобто кількістю завершених робіт, по яким отримані охоронні документи (патенти). Цей критерій характеризує їх абсолютну кількість. Об'єктивнішим є відносний показник, наприклад,

кількість патентів, віднесених до певної кількості робітників P даного колективу ($P=100, 1000$). Чим вищі ці критерії, тим ефективніша НДР колективу.

2.5. Технічна творчість

Слово “інженер” походить від латинського “*ingeniare*”, що означає “творити”, “створювати”, “винаходити”. За визначенням, даним Інженерною радою професійного розвитку США, інженер – це «...професія, яка допомагає раціонально застосовувати знання математичних, природничих наук, що були здобуті під час навчання, з досвіду, практики при роботі з матеріалами, об’єктами природи, з оптимальною користю для людини». Інженери використовують наукові принципи для проектування різноманітних конструкцій, машин та інших продуктів. Вони займаються пошуком шляхів вдосконалення використання існуючих ресурсів, розробляють нові матеріали. У цьому аспекті доцільно навести функції інженера, зазначені в американській енциклопедії: дослідження, розвиток, дизайн, випробовування, планування, виробництво, оперування, продаж, обслуговування [12].

Поняття “технічна творчість” трактується у політехнічному словнику як “цілеспрямоване розв’язання у проекті і в формі матеріального втілення будь-якої технічної задачі з елементами новизни на основі наявної інформації з даного питання, теоретичних знань і практичного досвіду” [13].

Інженерна діяльність повинна бути творчою технічною діяльністю. Але розвиток технічної творчості у майбутніх інженерів-механіків є однією з головних проблем сучасної системи вищої освіти. Часто студентам роками подаються догми, загальноприйняті думки, теорії й теореми, які пізніше, в напівусвідомленому вигляді студенти викладають на екзаменах. Наукові дисципліни повинні викладатися таким чином, щоб студент міг проводити самостійні дослідження, отримувати результати і висувати гіпотези. Більш того, викладачі не акцентують уваги студентів на можливості створити щось нове, що було б кращим за існуюче. Існує принципова відмінність дисциплін

творчого циклу від класичних і навіть спеціальних, де чітко визначені інтелектуальні задачі (в постановці, методах розв'язання, прикладах, результатах рішення). Творчі інженерні задачі непомірно важкі та складні (як правило, відсутня постановка задачі, не вказаний метод розв'язування, відсутні приклади для навчання, результат невідомий навіть викладачу) [14].

Творчість – не просто якесь осяяння, її не можна зводити лише до неусвідомленого, мимовільного явища. Але її не можна зводити і тільки до логічних дій. Творчість – складний діалектичний процес, що має відповідні етапи і свій механізм. Її розглядають як процес, рух до відшукуваного результату в умовах відсутності алгоритму пошуку, хоча існує ціла група методів активізації творчої діяльності.

Незважаючи на відсутність алгоритму і оригінальність способів одержання результату, в творчості, як складному процесі, можна виділити основні етапи і відповідну структуру. Одним з найпоширеніших є варіант, у відповідності з яким творчість у своєму розвитку проходить чотири етапи:

- виникнення (постановка) і усвідомлення творчої проблеми;
- пошук шляхів, принципу вирішення проблеми;
- наукове відкриття, «народження» наукової ідеї, створення ідеальної моделі відкритого явища, розробка задуму;
- верифікація, тобто практична перевірка гіпотези і реалізація результату творчого акту.

Науково-технічний прогрес стимулює творче мислення вчених, визначає творче ставлення людей до праці, суттєво впливає на ціннісні настанови людини, що орієнтується на сприйняття і практичне використання сучасних досягнень науки і техніки. Інтеграція науки і виробництва призводить до того, що технічна творчість приймає характер наукового дослідження, а наукова творчість дедалі більше спирається на технічні засоби моделювання, дослідно-конструкторські розробки. Цінність науково-технічної творчості має відображення не лише в економічній ефективності, але й в ступені та характері впливу результатів творчості в найближчому і віддаленому майбутньому на

екологічну, соціально-економічну і політичну ситуацію, а також на сферу культурного розвитку суспільства.

2.5.1. Постановка задачі інженерної творчості.

Перед майбутнім інженером завжди виникають завдання і питання, які пов'язані з пошуком (винаходом) нових, більш ефективних конструкторсько-технологічних рішень і насамперед таких, які переважають світовий рівень. Такі завдання (інженерні задачі) виникають при розробці нових машин, приладів, технологічного устаткування і технологій, при виконанні планових робіт по реконструкції та модернізації.

Вирішення проблеми інтенсивного розвитку економіки висунуло велику кількість додаткових інженерних задач, пов'язаних з економією трудових ресурсів, сировини, матеріалів, енергії, а також з підвищенням продуктивності, якості і технічного рівня виробів, скорочення ручної малокваліфікованої і монотонної праці, тощо.

Це вимагає обов'язкового оволодіння інтенсивною технологією інженерного творення на підставі використання сучасних методів інженерної творчості, спеціально підготовленої інформації і обчислювальної техніки.

Основна мета масового навчання інженерній творчості полягає у виявленні та розкритті творчих нахилів і здібностей, про які більшість тих, хто навчаються, не підозрює.

На сьогодні в інженерній практиці розроблено більше 100 методів активізації технічної творчої діяльності, які можна умовно розділити на дві групи:

1. Евристичні методи технічної творчості, за допомогою яких вирішують задачі технічної творчості без використання ЕОМ замість традиційного методу “проб і помилок”. До евристичних методів належать такі, які передбачають послідовний перебір усіх можливих варіантів рішення і побудовані на принципах аналізу будови і особливостей технічної системи (об'єкту) або такі, що передбачають генерування ідей шляхом психологічного

подолання інерції мислення і представляють безсистемний пошук рішення задач (асоціативні і психологічні методи пошуку нових технічних рішень).

2. *Комп'ютерні* методи пошукового конструювання, побудовані з використанням ЕОМ.

2.5.2. Асоціативні методи пошуку нових технічних рішень.

Асоціація – зв'язок, який виникає при певних умовах між двома або більше психічними утвореннями (відчуттями, сприйняттям, ідеями).

До асоціативних методів відносяться: метод фокальних об'єктів; метод гірлянд випадковостей і асоціацій та ін.

Між різними словами можливо здійснити логічний зв'язок, встановити асоціативний перехід в 4–5 етапів (деревина – м'яч: деревина – ліс – поле – поле футбольне – футбольний – м'яч).

Для виникнення асоціацій і генерування ідей можливо використовувати [метафори](#).

Якщо на об'єкт, що удосконалюється, перенести ознаки інших, випадково вибраних об'єктів, то різко зростає кількість раптових варіантів рішення. На основі цієї ідеї у 1926 р. проф. Кунце створив метод каталогу, який в 50-х рр. XX ст. вдосконалений Вайтингом і називається метод фокальних об'єктів.

Метод фокальних об'єктів (МФО)

Суть методу полягає в перенесенні ознак випадково вибраних об'єктів на об'єкт, що вдосконалюється, який лежить ніби в фокусі переносу [[15](#)].

Послідовність дій при використанні методу фокальних об'єктів:

1. Вибір фокального об'єкта (наприклад, годинник)
2. Вибір трьох – чотирьох випадкових об'єктів (їх вибирають навмання зі словника, журналу, каталогу тощо. Наприклад: кіно, змія, каса, полюс).
3. Складання списку ознак випадкових об'єктів (наприклад: кіно – широкоекранне, звукове, кольорове, у форматі 3D і т.д.)

4. Генерування ідей шляхом приєднання до фокального об'єкта ознак випадкових об'єктів (наприклад, широкоекранний годинник, звуковий годинник, об'ємний годинник).

5. Розвиток отриманих сполучень шляхом вільних асоціацій (наприклад, широкоекранний годинник – замість вузького циферблату взятий широкий – може бути вузький циферблат, який інколи розтягується в широкий або який проеціюється на щось).

6. Оцінка отриманих ідей і відбір корисних рішень (доцільно доручити оцінку експерту або групі експертів, а потім разом відібрати корисні рішення).

МФО дає гарні результати при пошуку нових модифікацій уже відомих способів і пристроїв. Подальший розвиток методу фокальних об'єктів здійснив винахідник Г.Я. Буш (метод гірлянд випадковостей і асоціацій). Його відмінність від МФО полягає у визначенні гірлянди синонімів об'єкта, який вдосконалюється, і складанні переліку ознак не тільки випадкових об'єктів, а і цих синонімів.

2.5.3. Психологічні методи активізації творчої діяльності

Метод контрольних запитань

Це один із методів психологічної активізації творчого мислення, мета якого полягає в тому, щоб за допомогою навідних запитань підвести до розв'язання задачі. Даний метод може застосовуватися як монолог винахідника, який звертається до себе або як діалог винахідників. Суть методу: винахідник вирішує свою задачу, відповідаючи на питання зі списку.

Одним із найкращих можна вважати список контрольних запитань, складений англійським винахідником Т. Ейлоартом [16]:

1. Перерахувати всі якості і визначення можливого винаходу. Змінити їх.
2. Ясно сформулювати задачу. Спробувати нові формулювання. Визначити другорядні та аналогічні задачі. Виділити головні.
3. Перерахувати недоліки існуючих рішень, їх основні принципи, нові припущення.

4. Назвати фантастичні, біологічні, економічні, молекулярні та інші аналогії.
5. Побудувати математичну, гідравлічну, електронну, механічну та ін. моделі.
6. Спробувати різноманітні види матеріалів та енергії: газ, рідину, піну, теплоту, магнітну енергію, світло, силу удару, поверхневі властивості і перехідні стани: ефекти Джоуля – Томпсона, Фарадея та ін.
7. Встановити варіанти, залежності, можливі зв'язки, логічні збіги.
8. З'ясувати думки декількох зовсім необізнаних в даній справі людей.
9. Влаштувати сумбурне групове обговорення, вислуховуючи всі і кожен ідею без критики.
10. Спробувати “національні” рішення: хитре шотландське, марнотратне американське, складне китайське.
11. Спати з проблемою, йти на роботу, гуляти, приймати душ, їхати, пити, їсти – все з нею.
12. Знаходитись серед стимулюючої обстановки (технічний музей, магазин дешевих речей), переглядати журнали, комікси.
13. Створити таблицю цін, величин, переміщень, типів матеріалів та інших різних розв'язків проблеми або її частини. Шукати проблеми в рішеннях або нові комбінації.
14. Визначити ідеальне рішення, розробляти можливі.
15. Видозмінити розв'язання проблеми з точки зору часу (швидше або повільніше), розмірів, в'язкості тощо.
16. Подумки потрапити всередину механізму.
17. Визначити альтернативні проблеми і системи, які вилучають певну ланку з ланцюга і таким чином, створюють щось цілковито інше, відводячи в бік від потрібного рішення.
18. Чия ця проблема? Чому його?
19. Хто придумав це першим? Історія питання. Які були неправильні тлумачення цієї проблеми?

20. Хто ще розв'язував таку проблему? Чого він досяг?

21. Визначити загальноприйняті граничні умови і причини їх встановлення.

Мозковий штурм (МШ)

Мозковий штурм – один з найбільш популярних методів психологічної активізації колективної творчої діяльності, який застосовується для отримання нових ідей в науці, техніці, адміністративній і торгівельній діяльності. Під час сеансу МШ відбувається ніби ланцюгова реакція ідей, яка призводить до інтелектуального вибуху. Сучасні методи МШ виникли і були розвинені в США. Їх засновником вважається морський офіцер А. Осборн, який під час другої світової війни був капітаном невеликого транспортного корабля. Одного разу судно під його командуванням перевозило вантаж до Європи і опинилося без надійної охорони і прикриття. В цей час була отримана радіограма про швидкий напад німецьких підводних човнів. Осборн зібрав всіх на палубі, повідомив про можливий напад і попросив кожного подумати і висловити свої міркування з приводу того, що слід зробити, щоб запобігти загибелі судна, яке не мало ефективних засобів захисту. Один з матросів сказав, що треба всій команді встати вздовж борта, до якого наблизатиметься торпеда, дружно подути на торпеду і “вітдмухати її вбік”. Того разу зустріч з підводними човнами не була фатальною. Однак висловлена матросом смішна, абсурдна ідея виявилася плідною. Коли корабель повернувся на свою базу, за ескізами, які розробив Осборн, був виготовлений пристрій, який створював потужний спрямований потік води. Цей пристрій в одному з наступних рейсів дійсно змінив траєкторію польоту торпеди і відвернув її від борта. Так у Осборна народилася ідея створення методу колективного пошуку ідей для усунення скрутних ситуацій. Після війни, у 1953 р. він розробив метод мозкової атаки і створив свою школу підготовки винахідників і раціоналізаторів.

Справжній сеанс МШ – особливий психологічний стан людей, коли думається без вольових зусиль і приймається до уваги “все, що прийде до

голови”. Саме такий стан виявляється найбільш продуктивний, оскільки дозволяє найбільшою мірою використовувати підсвідомість людини – найпотужніший апарат творчого мислення. Для усунення психологічних перешкод, викликаних страхом критики, Осборн запропонував розділити в часі процеси генерування ідей та їх критичної оцінки. В цих процесах беруть участь різні люди.

Переваги мозкового штурму: висока ефективність, не потрібна спеціальна підготовка, універсальність, широка галузь застосування.

Основні правила проведення мозкового штурму [17]:

1. Задачу послідовно розв’язують дві групи людей по 6 – 12 чоловік в кожній. Перша група висуває різноманітні ідеї – це група “генераторів ідей” (люди з розвинутою фантазією). Задача “штурмується” протягом 20–40 хвилин. Друга група – “експерти”, які визначають цінність запропонованих ідей (люди з аналітичним, критичним складом розуму).

2. Основна задача “генераторів” – подати за відведений час якомога більше ідей (в тому числі фантастичних, помилкових, жартівливих). Погані ідеї – каталізатори, без них не буде хороших. Регламент на кожну ідею – не більше 2 хвилин.

3. Коли ідея генерується, заборонена будь-яка критика, не тільки словесна, але й прихована – у вигляді скептичних посмішок, міміки, жестів тощо. Для проведення “мозкового штурму” необхідно запрошувати людей різних спеціальностей і різного рівня освіти. Для активізації процесу генерації ідей в ході штурму рекомендується використовувати деякі прийоми: “інверсія” (зроби навпаки), “аналогія” (зроби так, як це зроблено в іншому рішенні), “емпатія” (вважай себе частиною об’єкта, який вдосконалюється, і з’ясуй при цьому свої відчуття, враження) і “фантазія” (зроби щось фантастичне).

4. Процесом розв’язання задачі керує керівник “штурму”. Він слідкує за тим, щоб висловлювання ідей відбувалося не тільки в раціональному напрямі, а й в інших – фантастичних, непрактичних напрямках.

5. Експертизу і відбір ідей після закінчення процесу генерування слід проводити особливо уважно.

6. Якщо задача не розв'язана за допомогою “штурму”, то необхідно повторити процес розв'язання в іншому аспекті, з більш широким формулюванням задачі або з іншим колективом.

Різновиди мозкового штурму: індивідуальний, зворотній (основне значення приділяється критиці), масова мозкова атака (аудиторія ділиться на групи, група вирішує індивідуальні задачі методом прямого мозкового штурму. Керівник групи відбирає із запропонованих 3 – 4 рішення, потім обговорення ведеться у великій аудиторії), мозковий штурм з оцінкою.

Синектика

Синектика – методика психологічної активізації творчості, розроблена Гордоном, є удосконаленням мозкового штурму. “Синектика” в перекладі з грецької означає “суміщення різнорідних елементів”. При використанні синектики формуються групи (5 – 7 чоловік) людей різних спеціальностей. Організація сесії синектиків запозичена у мозкового штурму, але відрізняється дуже активним застосуванням аналогій. Структура синектичного процесу:

1. Формулювання проблеми в загальному вигляді.

Обговорення деяких ознак задачі (наприклад, розгляд фізичного принципу процесу). Найчастіше проблема формулюється в такому вигляді, в якому вона надана замовником. Головна задача запрошених експертів – виявлення корисних і конструктивних ідей шляхом оперативного аналізу висловлювань. Шляхом аналізу перших рішень експерт показує слабкі сторони і роз'яснює суть дійсної проблеми. Етап формулювання “проблеми як вона дана”.

2. Початок аналізу проблеми.

Кожен учасник повинен знайти і оригінально сформулювати одну мету розв'язання. Етап подрібнення проблеми на частини, на підпроблеми. Етап формулювання “проблеми як її розуміють”.

3. Генерування ідей рішення на основі вибраного формулювання проблеми. Починається екскурсія в інші області техніки, живої природи, політики і психології. Головна мета – знайти нову точку зору на проблему. Для знаходження прикладів, в яких є аналогічна ситуація, застосовують 4 види аналогій: пряму, особисту, символічну, фантастичну.

При *прямій аналогії* досліджуваний об'єкт (процес) порівнюється з більш чи менш аналогічними з іншої галузі техніки або з живої природи. Робиться спроба використання готових рішень.

Особиста аналогія (емпатія) – ототожнення себе з технічним об'єктом. При цьому доцільно використовувати три прийоми: а) опис фактів уявного положення технічного об'єкта від першої особи; б) опис емоцій і відчуттів, які приписуються об'єкту, від першої особи; в) емпатія – ототожнення себе з технічним об'єктом, розуміння його мети, функції, складності.

Символічна аналогія – деяка узагальнена, абстрактна аналогія. Потрібно в парадоксальній формі сформулювати (буквально в двох словах) фразу, яка відображає сутність явища. Вона повинна відображати зв'язок між словами, які зазвичай ніяк одне з одним не зіставляються, і містити в собі щось неочікуване, дивне. Вибирається ключове слово і намагаються виразити сутність цього слова у вигляді оригінальної короткої фрази, яка містить парадокс (храповий механізм – надійна переривчастість, розчин – зважене безладдя, полум'я – видима теплота). Такий прийом дозволяє здійснити перехід в далекі від проблеми, що обговорюється, сфери людської діяльності (політики, мистецтва, релігії).

При *фантастичній аналогії* вводяться які-небудь фантастичні засоби або персонажі, які виконують те, що потрібно за умовами задачі.

Перенесення знайдених ідей на “проблему як вона дана” і “проблему як її розуміють” та виявлення їх можливостей. Намагаються пов'язати отриманий матеріал, який на перший погляд не стосується справи, з проблемою. Критична оцінка експертами. Якщо отриманий погляд на розв'язання проблеми виявився неможливим, то повторюється процес розгляду інших ідей.

4. Розвиток і максимальна конкретизація ідеї, визнаної найбільш вдалою.

Морфологічний аналіз

Метод морфологічного аналізу розроблено в 1942 р. швейцарським астрономом Ф. Цвікки.

Мета методу: системно досліджувати усі можливі варіанти рішення задач, які витікають із закономірностей будови (морфології) удосконалюваного об'єкту, і тим самим врахувати, крім відомих, незвичайні варіанти, якими, як правило, можуть знехтувати.

Ідея методу: відійти в зону, далеку від того, що очевидно.

Суть методу: в технічній системі, що вдосконалюється, виділяється група конструктивних або функціональних (морфологічних) ознак. За кожною виділеною морфологічною ознакою складається список різних альтернативних варіантів технічної реалізації цих ознак. Кожна ознака може характеризувати який-небудь конструктивний вузол (елемент структури) технічної системи, яку-небудь функцію (або зв'язок між елементами), який-небудь режим роботи (або стану), яку-небудь форму взаємодії вузлів (елементів), тобто параметри, характеристики технічної системи, від яких залежить вирішення проблеми і досягнення основної.

Морфологічні ознаки з їх різноманітними альтернативами подаються у формі таблиці, що дає змогу краще уявити собі пошукове поле. Комбінуючи можливі сполучення варіантів виділених морфологічних ознак, можна виявити нові розв'язки задач, які за простого перебирання могли бути втрачені. Повне число рішень

$$N = \prod_{i=1}^n k_i,$$

де n – кількість морфологічних ознак, k_i – кількість можливих варіантів.

Морфологічну таблицю будують на основі конструктивної функціональної структури об'єкта, який вдосконалюється.

Послідовність морфологічного аналізу:

1. Точно сформулювати задачу (проблему), яку необхідно вирішити.
2. Скласти список усіх морфологічних ознак об'єкта, його характеристик, параметрів, від яких залежить вирішення проблеми і досягнення цілі.
3. За кожною морфологічною ознакою (або характеристикою) перерахувати можливі варіанти.
4. Визначити функціональну цінність всіх отриманих варіантів рішень.
5. Відібрати найбільш раціональні рішення. Вибір найкращого варіанта здійснюється за значенням найбільш важливого показника технічної системи.

Приклад.

1. Запропонувати нову ефективну конструкцію бункеру для змішування сировини при виробництві паливних брикетів.
2. Морфологічні ознаки: А – привод; Б – робочий орган; В – місткість для замішування; Г – механізм розвантаження.
3. Варіанти: А1 – електричний, А2 – пневматичний; А3 – гідравлічний. Б1 – дволопатевий; Б2 – Z-подібний; Б3 – серповидний і т.д.

У такому вигляді складається перелік варіантів за всіма характеристиками.

Таблиця 2.4.

А привод	Б робочий орган	В місткість для замішування	Г механізм розвантаження
А1 електричний	Б1 дволопатевий	В1 гладенька поверхня	Г1 використання проміжного шнека
А2 пневматичний	Б2 Z-подібний	В2 зачисні скребки	Г2 пневматичний всмоктувач
А3 гідравлічний	Б3 серповидний	В3 гальмівні рифлі	Г3 – ручний

4. Отримана таблиця вивчається, а найбільш цікаві “формули” сполучень виписуються. Наприклад, А1 – Б3 – В1 – Г2 – Д1.

Морфологічний аналіз застосовується при вирішенні конструктивних задач загального плану. Складність застосування морфологічного аналізу в

тому, що досі не існує якого-небудь дійсно практичного і універсального методу оцінки ефективності того чи іншого варіанту рішення.

Прийоми вирішення задач вищого рівня складності, розв'язки яких доводиться шукати в ряді інших галузей техніки, відрізняються від наведених вище. Одним з основних таких прийомів є алгоритм вирішення винахідницьких задач (АВВЗ).

Алгоритм вирішення винахідницьких задач (АВВЗ)

АВВЗ – методика програмного рішення технічних задач, створена радянським винахідником Альтшуллером. Методика заснована на вченні про протиріччя (передбачає виявлення, уточнення і усунення протиріччя).

Виявлені в процесі рішення технічних задач протиріччя можна поділити на:

- адміністративні, які присутні початково у самому факті виникнення винахідницької задачі, коли потрібно щось зробити, але як це зробити – невідомо.

- технічні – протиріччя, які виникають між частинами і параметрами системи при спробі їх зміни: якщо відомими способами покращувати одну частину (параметр), то недопустимо погіршується інша (параметр).

- фізичні – протиріччя, що полягають у висуванні до однієї і тієї ж самої частини системи взаємно протилежних вимог. Фізичні протиріччя є причиною технічних.

Вивчення проблемної ситуації – це насамперед виявлення технічних протиріч. Технічні протиріччя завжди проявляються своєрідно при вирішенні різних винахідницьких задач. Це створює свою проблемну ситуацію, і мета творчості полягає в специфічному її розв'язанні. Результатом розв'язання технічного протиріччя стає створення технічного об'єкта (системи).

Алгоритм – комплекс послідовно виконаних дій, направлених на рішення задачі.

Стратегія вирішення винахідницької задачі по АВВЗ (рис.2.1):

1) Формулюють початкову задачу (ЗП) в загальному виді. Враховується вектор психологічної інерції (ВІ) (винахідник спочатку спирається на свій попередній досвід) і технічні рішення в даній та інших областях.

2) Викладають умови задачі, що полягає в перерахуванні елементів технічної системи і небажаного ефекту, який здійснюється одним з елементів (задача оброблена ЗО).

3) Формулюють ідеальний кінцевий результат (ІКР). При порівнянні ІКР з реальними технічними об'єктами виявляється технічне протиріччя, а потім його причина – фізичне протиріччя. Технічне протиріччя – протиріччя між основними показниками (потужність – вага, продуктивність – якість).

Задачу розв'язують, користуючись фондом прийомів знешкодження технічних протиріч і фондом фізичних ефектів і явищ. Суть АВВЗ – виявити протиріччя і усунути його, перебравши відносно невелику кількість варіантів.

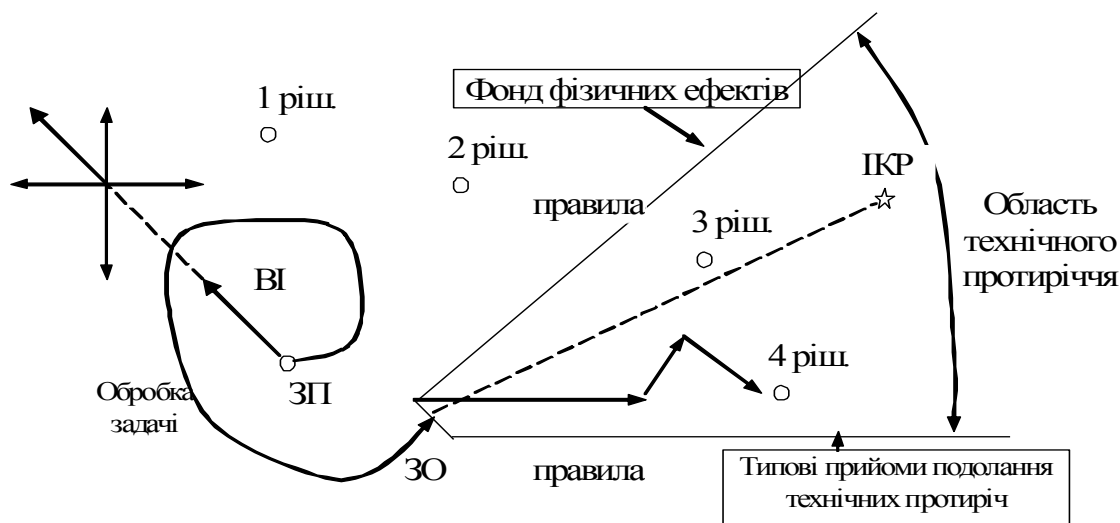


Рис. 2.3. Схема вирішення винахідницької задачі по АВВЗ

Основні прийоми усунення протиріч:

1. Дроблення: розділити об'єкт на незалежні частини; виконати об'єкт розбірним; збільшити ступінь дроблення.
2. Винесення: відокремити від об'єкта частину або властивість, яка «заважає»; виділити єдину потрібну частину або потрібну властивість.

3. Місцева якість: перейти від однорідної структури об'єкта або зовнішнього середовища до неоднорідної; різні частини повинні мати різні функції, кожна частина об'єкта повинна перебувати в умовах, найбільш сприятливих до роботи.

4. Асиметрія: перейти від симетричної форми об'єкта до асиметричної.

5. Об'єднання: з'єднати однорідні або призначені для суміжних операцій об'єкти; об'єднати в часі однорідні або суміжні операції.

6. Універсальність: об'єкт виконує кілька різних операцій-функцій, завдяки чому зникає необхідність в інших.

7. Матрьошка: один об'єкт розміщений всередині другого, який, в свою чергу, знаходиться всередині третього; один об'єкт проходить крізь порожнину в іншому.

8. Антивага: компенсувати вагу об'єкта з'єднанням з іншим, який володіє підйомною силою; взаємодією із середовищем.

9. Попереднє напруження: заздалегідь надати об'єкту зміни, протилежні неприпустимим робочим змінам.

10. Попереднє виконання: заздалегідь виконати потрібну зміну об'єкта, заздалегідь розташувати об'єкти так, щоб вони могли вступити в дію без витрат часу на їх доставку і з найбільш зручного місця.

11. Заздалегідь підкладена подушка: компенсувати відносно невисоку надійність об'єкта заздалегідь підготовленими засобами.

12. Еквіпотенційність: змінити умови роботи так, щоб не доводилося піднімати або опускати об'єкт.

13. Навпаки: замість дій, які продиктовані умовами задачі, здійснити зворотну дію; зробити рухому частину об'єкта або зовнішнього середовища нерухомою, а нерухому – рухомою; перевернути об'єкт «з ніг на голову».

14. Сфероїдальність: перейти від прямолінійних ділянок до криволінійних, від плоских – до сферичних, від частин у вигляді куба або

паралелепіеда – до кульових конструкцій; використання роликів, кульок, спіралей.

15. Динамічність: характеристики об'єкта або ВС повинні змінюватися так, щоб бути оптимальними на кожному етапі роботи: розділити об'єкт на частини, які здатні переміщуватися одна відносно одної.

16. Часткове або надлишкове рішення: якщо складно отримати 100% потрібного ефекту, треба отримати «трохи менше» або «трохи більше»; задача може суттєво спроститися.

17. Принцип переходу в інший вимір: заміна руху об'єкта вздовж лінії рухом у двох вимірах (на площині), рух на площині замінити просторовим (у трьох вимірах). Багатоповерхова (замість одноповерхової) компоновка об'єктів. Використання зворотної сторони даної площини. Використання оптичних потоків, які падають на сусідню площину або на зворотний бік даної. Нахилити об'єкт або покласти його на бік.

18. Використання механічних коливань: привести об'єкт у коливний рух. Якщо такий рух уже здійснюється – збільшити його частоту (аж до ультразвукової). Застосувати замість механічних вібраторів п'єзовібратори. Використовувати ультразвукові коливання в поєднанні з електромагнітними полями. Використати резонансну частоту.

19. Принцип періодичної дії: перейти від неперервної дії до періодичної (імпульсної). Якщо дія вже виконується періодично – змінити періодичність. Використати паузи між імпульсами.

20. Принцип безперервності корисної дії: проводити роботу безперервно (усі частини об'єкта весь час працюють з повним навантаженням). Усунути холості проміжні ходи. Перейти від зворотно-поступального руху до обертового.

21. Принцип "проскоку": подолати шкідливі або небезпечні стадії процесу на великій швидкості.

22. Принцип "перетворити шкоду на користь": використати шкідливі фактори (зокрема, шкідливий вплив середовища) для отримання позитивного

ефекту. Усунути шкідливий фактор за рахунок поєднання з іншим шкідливим фактором. Підсилити шкідливий фактор до такої міри, щоб він перестав бути шкідливим.

23. Принцип зворотного зв'язку: ввести зворотний зв'язок. Якщо зворотний зв'язок є – змінити його.

24. Принцип "посередника": використати проміжний об'єкт – переносник потрібної дії. Тимчасово приєднати до об'єкта інший, який легко відокремлюється.

25. Принцип самообслуговування: об'єкт повинен сам себе обслуговувати, виконуючи допоміжні і ремонтні операції. Використати відходи (енергії, речовини).

26. Принцип копіювання: замість недоступного, складного, великої вартості, незручного або крихкого об'єкта використати його спрощені й дешеві копії. Замінити об'єкт або систему об'єктів їх оптичними зображеннями (копіями), використовуючи при цьому зміну масштабу. Якщо використовуються видимі оптичні лінії, перейти до копій інфрачервоних або ультрафіолетових.

27. Дешева недовговічність замість дорогої довговічності: замінити дорогий об'єкт набором дешевих, поступившись при ньому деякими властивостями (наприклад, довговічністю).

28. Заміна механічної схеми: замінити механічну систему електричною, оптичною, акустичною або "запаховою". Використати електричні, магнітні й електромагнітні поля для взаємодії з об'єктом. Перейти від нерухомих полів до рухомих, від фіксованих до змінних у часі, від не структурних – до полів з певною структурою. Використати поля в поєднанні з феромагнітними частинками.

29. Використання пневмоконструкцій і гідро конструкцій: замість твердих частин об'єкта використати газоподібні й рідкі: надувні й гідронаповнені, повітряну подушку, гідростатичні й гідро-реактивні.

30. Використання гнучких оболонок і тонких плівок: замість об'ємних конструкцій використати гнучкі оболонки і тонкі плівки. Ізолювати об'єкт від зовнішнього середовища за допомогою гнучких оболонок і тонких плівок.

31. Застосування пористих матеріалів: зробити об'єкт пористим або використати додаткові пористі елементи (вставки, покриття і т.д.). Якщо об'єкт пористий, попередньо заповнити пори певною речовиною.

32. Принцип зміни забарвлення: змінити забарвлення об'єкта або зовнішнього середовища. Змінити ступінь прозорості об'єкта або зовнішнього середовища. Для спостереження за об'єктами або процесами, які погано видно, використовувати добавки-барвники. Якщо такі добавки вже застосовуються, використовувати мічені атоми або люмінофори.

33. Принцип однорідності: об'єкти, що взаємодіють з даним об'єктом, повинні бути зроблені з того самого матеріалу (або з близькими за властивостями).

34. Принцип відкидання або регенерації частин: частина об'єкта, що виконала своє призначення або стала непотрібною, повинна бути відкинута (розчинена, випарена і т.п.) або видозмінена в процесі роботи. Витратні частини об'єкта повинні бути відновлені безпосередньо в процесі роботи.

35. Зміна фізико-хімічних параметрів об'єкта: змінити агрегатний стан об'єкта. Змінити концентрацію або консистенцію. Змінити ступінь гнучкості. Змінити температуру, об'єм.

36. Застосування фазових переходів: використати явищ, що виникають при фазових переходах, наприклад, зміна об'єму, виділення або поглинання тепла.

37. Застосування термічного розширення: використати термічне розширення (або стискання) матеріалів. Якщо термічне розширення вже використовується, застосувати кілька матеріалів з різними коефіцієнтами термічного розширення.

38. Застосування сильних окислювачів: замінити звичайне повітря збагаченим. Замінити збагачене повітря киснем. Впливати на повітря або

кисень іонізуючим випромінюванням. Використати озонований кисень. Замінити озонований (або іонізований) кисень озоном.

39. Зміна ступеня інертності середовища: замінити звичайне середовище нейтральним (інертним). Увести в об'єкт нейтральні частини, добавки тощо. Здійснювати процес у вакуумі.

40. Застосування композитних матеріалів: перейти від однорідних матеріалів до композитних.

Існують багато інших методів активізації творчої діяльності.

2.6. Науково-дослідна робота та технічна творчість студентів

Навчаючись у вищих навчальних закладах України, студенти мають численні права, у тому числі і право брати участь у всіх видах науково-дослідних робіт, конференціях, симпозіумах, а також представляти свої роботи для публікації, зокрема у виданнях вищого навчального закладу. Однак в нормативних документах також зазначено, що студенти ВНЗ зобов'язані оволодіти знаннями, виконувати у встановлені терміни всі види завдань, передбачених навчальним планом і освітньо-професійною програмою. Зокрема, вони повинні виконувати ті види завдань, які містять елементи наукового дослідження і включені в навчальний план або плани занять по дисципліні. До їх числа відносяться реферат, доповідь, курсова робота, кваліфікаційна робота бакалавра, дипломний проект та магістерська дипломна робота. Щоб виконати ці роботи, студенту необхідно уміти:

- вибрати тему і розробити план дослідження;
- знаходити наукову інформацію і працювати з літературою;
- збирати, аналізувати і узагальнювати наукові факти, матеріали з тематики дослідження;
- визначити оптимальні методи дослідження;
- теоретично пропрацювати досліджувану тему, аргументувати висновки, обґрунтовувати пропозиції і рекомендації;

- виконати експериментальні дослідження та обробити їх результати.
- оформити результати наукової роботи.

Сучасний інженер-механік повинен володіти не тільки необхідною сумою теоретичних знань і практичних навичок, але і певними вміннями творчого вирішення поставлених завдань. Всі ці вміння отримуються у ВНЗ шляхом активної участі студентів в науково-дослідній роботі. Поняття «науково-дослідна робота студентів» (НДРС) та «технічна творчість студентів» містять такі елементи:

1) навчання студентів елементам дослідницької праці і генерування технічних рішень, розвиток відповідних навичок;

2) власне наукові дослідження і конструкторські розробки, що проводяться студентами під керівництвом науково-педагогічних працівників.

НДРС і технічна творчість є продовженням і поглибленням навчального процесу, одним з важливих і ефективних засобів підвищення якості підготовки інженерів-механіків з вищою освітою. Цілями наукової роботи студентів виступають перехід від засвоєння готових знань до оволодіння методами отримання нових знань, надбання навичок самостійного аналізу процесів та обладнання для їх реалізації з використанням наукових методик.

Основні задачі наукової роботи студентів:

а) розвиток творчого і аналітичного мислення, розширення наукового кругозору;

б) прищеплення стійких навичок самостійної науково-дослідницької роботи;

в) підвищення якості засвоєння дисциплін, що вивчаються;

г) вироблення вміння застосовувати теоретичні знання і сучасні методи наукових досліджень в професійній діяльності.

Наукова робота студентів поділяється на навчально-дослідницьку, яка включена у навчальний процес і проводиться під час навчання, і науково-дослідну, виконувану у позанавчальний час (рис. 2.4).

Навчально-дослідна робота виконується у відведений розкладом занять навчальний час по спеціальному завданню в обов'язковому порядку кожним студентом під керівництвом викладача – наукового керівника. Основним завданням навчально-дослідної роботи є набуття студентами навичок самостійної теоретичної та експериментальної роботи, ознайомлення з реальними умовами праці в лабораторії, в науковому колективі. Основними елементами навчально-дослідної роботи є: науково-дослідна робота на лабораторних і семінарських заняттях; написання курсових та дипломних робіт тощо. Кафедра, яка включає в свій навчальний план навчально-дослідну роботу, попередньо розробляє тематику досліджень, забезпечує її науковими керівниками, готує методичну документацію, рекомендації по вивченню спеціальної літератури.



Рис.2.4. Наукова робота студентів

Наукова робота студентів, що виконується в позанавчальний час, також має різноманітність форм і видів (див. рис. 2.1)

Поряд зі студентськими науковими гуртками, основною формою науково-дослідної роботи студентів, виконуваної в позанавчальний час, є участь студентів в наукових дослідженнях, що проводяться кафедрами та науковими підрозділами ВНЗ по госпдоговірній та бюджетній тематиці. До таких досліджень залучаються студенти останніх курсів, які проявили здібності до проведення досліджень і активно приймають участь в науково-дослідній роботі.

Контрольні запитання

1. *Мета проведення наукових досліджень.*
2. *За якими ознаками класифікують наукові дослідження?*
3. *Що таке метод і яка його функція в науковому пізнанні*
4. *Які є рівні пізнання і як вони пов'язані між собою?*
5. *Які є методи емпіричного дослідження?*
6. *Які переваги експерименту в науковому пізнанні?*
7. *Які основні вимоги до гіпотези?*
8. *Що таке теорія і яка її структура?*
9. *Які наукові проблеми стоять перед енергетичною галуззю?*
10. *У чому особливість методу дедукції?*
11. *Методи планування наукових досліджень, їх переваги і недоліки.*
12. *Поняття ефективності наукових досліджень.*
13. *За якими критеріями розраховується ефективність наукових досліджень для окремого виконавця і наукового колективу?*
14. *Як класифікують методи активізації творчої діяльності?*
15. *Суть і етапи методу фокальних об'єктів*
16. *В чому відмінність методу фокальних об'єктів і методу гірлянд випадковостей і асоціацій?*
17. *Суть методу контрольних запитань*
18. *За якими правилами проводиться мозковий штурм?*
19. *Суть методу морфологічного аналізу*

- 20. Що таке ідеальний кінцевий результат?*
- 21. Суть алгоритму вирішення винахідницьких задач*
- 22. Які є види протиріч?*
- 23. Етапи вирішення винахідницьких задач по АВВЗ*
- 24. Основні задачі наукової роботи студентів*

3. НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

3.1. Початкові відомості про наукову інформацію

Кожне наукове дослідження починається з детального вивчення науково-технічної інформації по заданій темі. Переробка та аналіз інформації, її систематизація дозволяє всебічно вивчити стан питання по темі дослідження, уточнити при необхідності його мету та завдання. Серед 13 видів видань, виділених за цільовим призначенням, важливе місце посідають такі, де публікуються результати наукових досліджень та технічної творчості: наукові, науково-популярні та науково-виробничі видання, в яких оприлюднюються результати теоретичних і (або) експериментальних досліджень, зміст яких розрахований на науковців, читачів-нефахівців та виробників відповідно.

Розрізняють джерела інформації первинні та вторинні [11]. *Первинні* джерела, до яких відносяться [монографії](#), статті, описи винаходів, дисертації, збірники праць конференцій, несуть в собі нову оригінальну інформацію. В цих джерелах інформація з'являється вперше, що і визначає її назву.

Вторинні джерела інформації призначені для переробки, систематизації первинних джерел та їх представлення у стислому вигляді. До них належать огляди, [реферативні журнали](#), бібліографічні видання, довідники.

Всі видання **по періодичності** поділяють на чотири основні види [19]: [неперіодичні](#), [періодичні](#) та [продовжувані](#).

До *неперіодичних* видань належать монографії, матеріали конференції, стандарти, підручники, посібники, словники, енциклопедії тощо. До *періодичних* відносяться газети, журнали, бюлетені тощо, які виходять регулярно, через певні проміжки часу. Вони мають однакову назву, об'єм і формат, зміст їх пов'язаний з певним науковим або технічним напрямком ("Енергетика", "Промислова електроенергетика та електротехніка" та ін.). *Продовжувані* видання мають послідовну нумерацію випусків або томів. Вони містять статті по окремим напрямкам і друкуються під назвою «Праці» (праці вищих навчальних закладів, науково-дослідних інститутів тощо).

Залежно від цільового призначення наукові журнали поділяють на: науково-теоретичні, науково-практичні та науково-методичні. Науково-практичний журнал, який містить статті, матеріали, реферати з технічних наук, називається науково-технічним журналом.

Перший у світі науковий журнал був виданий у Лондоні 1665 р. («Філософські праці Королівського товариства»), а починаючи з 1750 р., коли в Європі був встановлений регулярний поштовий зв'язок, їх кількість стала постійно збільшуватися. Останні 200 років збільшення кількості наукових журналів підкоряється експоненційному закону, причому кожні 10 – 15 років вона подвоюється. Настільки ж збільшується й об'єм науково-технічної інформації. Тому пошук наукової інформації, з якого починається будь-яке наукове дослідження, є досить складним завданням, а успіх дослідження значною мірою визначається вмінням знайти потрібну інформацію. За підрахунками американських спеціалістів, від 10 до 20 % дослідницьких робіт можна було б не проводити, якби була детальна інформація по питанню, яке цікавить. Через це в усіх розвинених країнах створена і функціонує система науково-технічної інформації, яка дозволяє не тільки знайти необхідну інформацію, але й запобігти дублюванню робіт, значно скоротивши період дослідження.

Важливість максимально швидкого і повного ознайомлення з результатами досліджень, виконаними у напрямку, що цікавить, обумовлена «старінням» інформації внаслідок появи нових матеріалів або зниження потреби в ній. Термін «старіння» означає, що документи з плином часу втрачають цінність як джерела інформації і дедалі менше використовуються вченими і спеціалістами. Для визначення швидкості старіння видань американські вчені Р. Бартон і Р. Кеблер запропонували таку одиницю вимірювання, як напівперіод життя видань, тобто час, упродовж якого половиною всієї опублікованої на цей момент літератури з певної галузі знань перестають користуватися. Результати досліджень Бартона і Кеблера свідчать, що напівперіод життя журнальних статей з фізики дорівнює 4,6 року,

фізіології – 7,2 року, хімії – 8,1 року, ботаніки – 10 років, математики – 10,5 років, геології – 11,8 років. Виявлено також, що огляди, які містять більш узагальнену інформацію і всебічно досліджують проблеми, застарівають повільніше, ніж журнальні статті.

У вирішенні наукових та технічних питань допомагає **бібліографія** – вторинна інформація, представлена різними видами видань, в яких зібрані та класифіковані відомості про літературу. Цим же терміном позначають галузь знань про способи складання та вивчення показників, списків, оглядів надрукованих робіт.

Реферативний журнал (РЖ) «Джерело», який випускається в Україні з 1995 року і виходить 6 разів на рік, є найбільш ємним і доступним засобом пошуку наукової інформації. В ньому публікуються реферати української наукової літератури з усіх галузей знань, зокрема анотації книг та статей, описи винаходів по всім напрямкам сучасної науки та техніки. Користування РЖ дозволяє порівняно швидко відшукати інформацію, яка заслуговує уваги по обраній темі. РЖ виходить чотирма галузевими серіями: «Природничі науки», «Техніка. Промисловість. Сільське господарство», «Соціальні та гуманітарні науки. Мистецтво», «Медицина. Медичні науки». Література в РЖ розташовується за спеціальною класифікаційною схемою. Всі серії РЖ мають авторський та предметний показники.

Чим більше спеціалізований журнал, тим меншому колу читачів він цікавий. Однак тематика повинна залишатися досить широкою, щоб забезпечити деяку мінімальну кількість передплатників журналу, інакше він стане нерентабельним. В той же час з'являються наукові роботи, які цікаві тільки для вузького кола читачів. Тому створюють *депоновані рукописи* (термін означає «передані на збереження») – статті по вузьким напрямкам науки і техніки, не надруковані у періодичних журналах. Депонування здійснюється централізовано органами науково-технічної інформації. Прийняті на депонування рукописи отримують реєстраційні номери, а відомості про них оперативно наводяться у реферативних та інших журналах.

Користуючись цими випусками, можна замовити необхідну літературу і отримати її копію.

3.2. Види наукових творів

Монографія – наукове книжкове видання повного дослідження однієї проблеми або теми, що належить одному чи декільком авторам.

Реферат – короткий виклад сутності якого-небудь питання або наукової проблеми. Об'єм реферату становить 20–30 сторінок і може містити рисунки. Обов'язковий список використаної літератури.

Реферати бувають наукові та інформативні. *Науковий реферат* (від лат. докладати, сповідати) – коротке усне або письмове викладення наукової теми (питання), складене на основі проведеного дослідження, ознайомлення з одним або кількома літературними та іншими джерелами. *Інформативний реферат* – коротке письмове викладення однієї наукової праці, як опублікованої, так і у вигляді рукопису.

Огляд відрізняється від реферату більшим об'ємом літератури, що аналізується, широтою постановки питання. Об'єм його не регламентується і визначається станом питання, що розглядається.

Розрізняють бібліографічні, реферативні, аналітичні огляди. *Бібліографічний* огляд містить характеристику первинних документів як джерел інформації, що з'явилися за певний час або поєднаних за якоюсь загальною ознакою. *Реферативний* огляд містить систематизовані дані і факти та узагальнену інформацію про стан питання без їх критичної оцінки автором огляду. *Аналітичний* огляд – всебічний аналіз всієї інформації, що міститься у первинних документах, аргументована оцінка і обґрунтовані рекомендації щодо її використання.

Звіт являє собою систематизоване викладення результатів інформаційного пошуку або наукового дослідження.

Особливою формою наукового звіту є **дисертація**, яка містить відомості про самостійно виконану дисертантом наукову роботу і яка публічно

захищається для отримання вченого ступеня доктора філософії або доктора наук.

Автореферат – наукове видання у вигляді брошури авторського реферату проведеного дослідження, яке подається на здобуття наукового ступеня.

Препринт – наукове видання з матеріалами попереднього характеру, які публікуються до виходу у світ видання, в якому вони мають бути вміщені.

Стаття – твір, що ґрунтовно висвітлює яку-небудь тему, ідею, питання з елементами їх аналізу. Обсяг статті в середньому 10–12 сторінок друкованого тексту, може містити графічний або інший ілюстративний матеріал, але кількість його обмежена. Статті публікуються у наукових журналах, збірниках і є найбільш розповсюдженою формою систематизації наукових результатів.

На сьогодні в статтях, які планується опубліковувати у фахових виданнях, повинні бути такі частини:

- Вступ (постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які посилається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячена зазначена стаття; постановка завдання).

- Матеріали та методи (матеріали, які досліджуються; порядок проведення досліджень, опис методик, установок, опрацювання результатів досліджень).

- Результати та обговорення (викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів).

- Висновки (висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку).

- Література.

Статті перед публікацією обов'язково направляються на рецензію.

Рецензія – відзив, в якому критично розглядається один або декілька наукових творів, дається аналіз дослідження та оцінка наукової цінності їх змісту, стилю викладення.

Тези доповідей наукової конференції (з'їзду, симпозіуму) – науковий неперіодичний збірник матеріалів попереднього характеру, таких як анотації, реферати доповідей чи повідомлень, опублікованих до початку конференції.

Доповідь (повідомлення) являє собою короткий виклад основних наукових результатів, отриманих при проведенні дослідження, їх практичної цінності. В доповіді повинні наводитися висновки і рекомендації. Доповіді та повідомлення по науковим розробкам робляться на семінарах, конференціях.

Матеріали конференції (з'їзду, симпозіуму) – неперіодичний збірник підсумків конференції, доповідей, рекомендацій та рішень.

Збірник наукових праць – збірник матеріалів досліджень, виконаних у наукових установах, навчальних закладах чи товариствах.

Інформаційний листок – реферативне неперіодичне видання відомостей щодо передового виробничого досвіду або науково-технічного досягнення.

Брошура – друковане видання невеликого обсягу (4 – 48 сторінок). Це одна із форм публікацій науково-популярного характеру.

3.3. Картотеки, каталоги

У великих бібліотеках та навчальних закладах створено спеціальні довідниково-інформаційні фонди (ДІФ). В ДІФах є основний та довідниковий фонди. Основний фонд бібліотеки (книги, журнали, звіти тощо) розміщуються на полицях в алфавітному порядку по видам інформації. При цьому громіздкі матеріали, створені до початку широкого використання комп'ютерної техніки (дисертації, звіти, конструкторські документи), мікрофільмувалися зі зменшенням в 200 та більше разів.

Довідниковий фонд являє собою вторинні інформаційні документи основного фонду. Він представлений бібліографічними картками, які

зберігаються у спеціальних висувних ящиках. Довідниковий фонд складається з головної картотеки, каталогів та карток. Картотеки та каталоги – приклад найбільш стислого оформлення відомостей про книги, статті та інші публікації. Карткова система зручна для накопичення та зберігання даних про літературу. Картки можна легко переміщувати, збираючи у необхідні групи, в картотеку завжди можна додати нове та прибрати з неї непотрібне. Карткові системи стали основою для створення різних за видом і за призначенням каталогів.

Алфавітний каталог дозволяє відшукати будь-яку інформацію в даному ДІФі по прізвищу автора, редактора чи назві першоджерела (якщо авторів більше трьох або якщо видання являє собою збірник самостійних статей різних авторів). Алфавітний каталог використовується при пошуку вже відомої публікації.

Предметний каталог являє собою алфавітний список різних понять, подібний до предметного покажчика в книгах. Такий каталог використовується для визначення шифру при підборі матеріалів по вузькоспеціальним питанням, наприклад, “Фотоелектрика”, “Магнетизм” тощо.

Систематичний каталог дає можливість відшукати інформацію по різним галузям знань. Цим каталогом користуються, якщо відома тема пошуку.

Каталоги відображають тільки фонди того книгосховища, в якому вони встановлені.

Інформаційний пошук в РЖ, бібліотеках, каталогах значно полегшується при використанні інформаційно-пошукових мов. Найбільше розповсюдження з них отримала універсальна десяткова класифікація документів (УДК), розроблена Міжнародним бібліографічним інститутом у 1895–1905 рр. на основі «Десяткової класифікації» американського бібліотекаря Дьюї.

Десятковою ця класифікація називається тому, що в основі її структури лежить принцип десяткових дробів. Відповідно до цієї класифікації всі галузі знань поділяються на 10 класів, кожний клас – на 10 розділів, кожний розділ – на 10 підрозділів і т.д. Основний ряд УДК складається з таких класів:

0 – Загальний відділ.

1 – Філософія. Психологія.

2 – Релігія. Теологія.

3 – Суспільні науки.

....

6 – Прикладні науки. Медицина. Техніка. Сільське господарство.

7 – Мистецтво. Архітектура. Ігри. Спорт.

8 – Мова. Мовознавство. Художня література. Літературознавство

9 – Географія. Біографії. Історія

По мірі звуження галузі науки кількість цифр, що її позначає, зростає. Наприклад:

6 Прикладні науки. Медицина. Техніка. Сільське господарство

62 Машинобудування. Техніка загалом

621 Ядерна техніка. Електротехніка. Машинобудування загалом

621.1 Теплові двигуни загалом. Отримання, розподіл та використання пари.

621.12 Парові двигуни. Парові котли.

Подібну схему класифікації можна проводити до нескінченності. Однак на практиці індекс із 10–12 цифр достатній для виділення найбільш вузького напрямку. Для зручності користування кожна підгрупа позначається індексом з трьох цифр, після яких ставиться крапка.

В УДК використовуються також допоміжні *таблиці визначників*, які відкривають великі можливості для дробової класифікації матеріалу. Вони представляють собою самостійні десяткові цифрові ряди. Визначники визначають якісні характеристики творів або властивості предмету і

поділяються на загальні та спеціальні. Перші застосовуються у всіх класах основної таблиці УДК, другі служать для позначення понять, спільних для однієї чи кількох галузей. Визначники приписуються до основного індексу з умовними знаками, який характеризує даний визначник (крапка, дужки, дефіс та ін.) [11].

У круглих дужках з обов'язковим нулем на початку пишуться визначники форми та характеру видання. Наприклад: (083) – довідники, (075.3/8) – підручники для вищої школи, (07) – навчально-методичні посібники. Визначники дозволяють групувати різні документи. Наприклад:

53 (083) Довідники по фізиці

53 (075.8) Підручники по фізиці для вищої школи

В системі УДК використовуються знаки, які дозволяють об'єднати декілька понять під одним індексом. Зокрема, знак двокрапка : є знаком простого відношення і призначений для відображення зв'язків між поняттями: наприклад, індекс 538:541.182 (магнітні явища в колоїдах) об'єднує два поняття: 538 (магнетизм) та 541.182 (дисперсні системи, власне колоїди). Знак «плюс» (+) об'єднує декілька індексів, не пов'язаних загальною темою: індекс 621.12+664.041 – поняття: 621.12 (Парові двигуни. Парові котли) та 664.041 (методи термічної обробки).

Багато років УДК застосовувалась як найбільш досконала класифікація знань. Однак розвиток наукових знань, виникнення нових понять у науковій і практичній діяльності людей обумовили виникнення в колишньому СРСР ще однієї інформаційно-пошукової мови – ББК (бібліотечно-бібліографічна класифікація), яка має іншу систему класифікації та індексування людських знань. Основна (цифрова) частина її буквено-цифрових індексів побудована за десятковим принципом. У ній широко застосовуються знаки і прийоми УДК, що набули спадковості й свого подальшого розвитку. Основні розділи представлені двома системами нумерації: для масових бібліотек використовуються цифри, перший і другий ряди класифікації, для наукових –

один ряд букв. Зокрема, кожен з 21 відділу ББК має свій індекс з великих букв українського алфавіту [20]:

Індекси знань	Найменування індексів знань
А	Загальний
Б	Природничі науки в цілому
В	Фізико-математичні науки
Г	Хімічні науки
Д	Науки про землю
Е	Біологічні науки
Ж / О	Техніка. Технічні науки
П	Сільськогосподарські науки
...	
Ю	Філософські науки. Психологія
Я	Література універсального змісту

3.4. Пошук інформації в глобальній мережі Інтернет

Складний рівень організації виробництва, науки, техніки та культури сучасного суспільства пов'язаний із циркуляцією величезних потоків інформації найрізноманітнішого характеру. Обсяги нової інформації постійно зростають, зростає і швидкість поширення інформації. Цей процес обумовив створення нових засобів доступу до інформації, одним з яких стала всесвітня мережа Інтернет.

Найважливішим застосуванням комп'ютерів стала не автоматизація проектних робіт, діловодство чи комп'ютеризація виробництва і навчання, а створення глобальних комунікаційних мереж, які об'єднували б усе людство в єдине інформаційне співтовариство. Глобальна мережа Інтернет – це всесвітнє об'єднання регіональних і корпоративних комп'ютерних мереж, що створює

єдиний інформаційний простір завдяки використанню загальних стандартних протоколів передачі даних.

Не варто плутати поняття Інтернет і всесвітня павутина (WWW). Інтернет це глобальна мережа мереж, а WWW це один з сервісів Інтернет. Але ця плутанина скоріше говорить про глобальну популярності всесвітньої павутини (WWW) і підкреслює її значимість для користувачів.

Поняття WWW відноситься до абстрактного інформаційного кіберпростору. Під словом Internet зазвичай мають на увазі фізичний рівень мережі, тобто апаратне забезпечення, що складається з комп'ютерів і кабелів. Основою WWW і Internet є використання протоколів, тобто мови і правил, за допомогою яких комп'ютери "спілкуються" між собою. Наприклад, TCP / IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol), являє собою набір мережевих протоколів, які дозволяють комп'ютерам різної архітектури з'єднуватися один з одним. Він є базовим протоколом мережі Internet. WWW - це більше, ніж просто один з протоколів. Подібно мозаїці, Web об'єднує декілька протоколів, в тому числі FTP (File Transfer Protocol), telnet, WAIS (Wide-Area Information Servers) та інші.

Telnet, File Transfer Protocol, E-Mail, HyperText Transfer Protocol, Gopher, Wide-Area Information Servers, USENET News - протоколи, призначені для надання доступу до інформації та обміну нею. Оскільки WWW використовує стандартні протоколи Internet для передачі файлів і документів, термін Web часто використовується як синонім поняття Internet і відноситься як до всесвітньої мережі комп'ютерів, так і власне до інформації.

Поряд із суттєвими перевагами користування мережею Інтернет виникає і низка проблем, і чи не найбільшою з них стає можливість знайти те, що саме потрібно користувачу. Колосальна кількість найрізноманітніших інформаційних ресурсів, доступних в діалоговому режимі, потребує спеціальних засобів їхнього пошуку в мережі. Справжнім проривом користувача до інформаційних ресурсів стало створення WEB-технологій.

WEB-технології базуються на ідеї гіпертексту – звичайного тексту, який містить посилання і на власні фрагменти, і на інші тексти (рис.3.1). У мережі взаємопов'язані тексти можна розташовувати на різних територіально віддалених комп'ютерах, створювати і редагувати їх можуть різні люди.

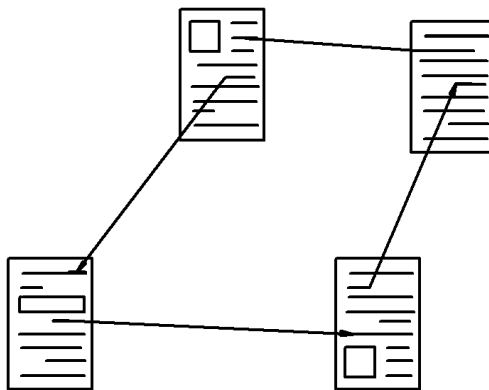


Рис.3.1. Приклад гіпертексту.

Таке “павутиння” взаємопов'язаних текстів становить гігантське інформаційне сховище.

WEB-технологія, або WWW, – це розподілена мережева гіпертекстова система, побудована на засадах моделі "клієнт-сервер". На так званих WEB-серверах у вигляді гіпертекстових документів зберігається інформація, яку шукають, отримують і відображають WEB-клієнти. Механізм, за яким встановлюється з'єднання між клієнтом і сервером, а також процедуру запиту і передачі інформації визначає протокол передачі гіпертексту (HTTP). Інформація на WEB-сервері зберігається у вигляді так званих WEB-сторінок, або WEB-документів, – файлів з розміткою HTML (Hyper Text Markup Language – мова гіпертекстової розмітки).

Web-сайт складається з пов'язаних між собою Web-сторінок. Web-сторінка являє собою текстовий файл з розширенням * .htm, який містить текстову інформацію і спеціальні команди - HTML-коди, що визначають в якому вигляді ця інформація буде відображатися у вікні браузера. Вся графічна, аудіо та відео інформація безпосередньо в Web-сторінку не входить і являє собою окремі файли.

Гіпертекст являє собою той же текст, що і, наприклад, текст MS Word, але відрізняється тим, що деякі його частини (символи, слова, фрази, малюнки) є інтерактивними посиланнями на інші документи. Тепер великий документ можна розбити на окремі теми і пов'язати їх через ключові фрагменти (символи, слова, фрази або малюнки). Ці фрагменти, виділені в документі особливим чином для їх ідентифікації, служать для переходу на пов'язані з ними за змістом інші теми, або містять в собі виклик інших додатків. Таким чином, можна сказати, що гіпертекст являє собою зміст, вбудований безпосередньо в документ. Спрощуючи читання, роблячи інформацію наочніше і зрозуміліше, гіпертекст створює комфортну роботу з документом, виконуючи багато дій, які користувачеві доводилося робити до цього, автоматично. Цей формат, зокрема, визначає зовнішній вигляд документа, взаємне розташування текстової, графічної, мультимедійної інформації. Внесення змін на WEB-сторінку здійснюється будь-яким текстовим редактором, а основною перевагою HTML-документів є їх здатність містити перехресні посилання один на одного, що робить WWW єдиною інформаційною системою. Перехресні посилання надають можливість користувачу швидко звернутися до документа з необхідною додатковою інформацією, а потім продовжити роботу з основним текстом. Відображаючи WEB-сторінки на екрані комп'ютера, перехресні посилання виділяють іншим кольором або підкреслюванням. Посиланням може бути будь-яке зображення або звуковий фрагмент.

Для адресації WEB-документів використовують універсальний ідентифікатор документів (Uniform Resource Locator, URL), в якому вказується метод доступу до ресурсу, тобто протокол доступу, потім адреса ресурсу в Інтернеті (ім'я домену і хост-машини) і, нарешті, повний шлях до файлу на сервері. В загальному випадку URL виглядає так:

Protocol://www.server.name / directory / subdirectory / file.html,

де Protocol – протокол доступу до документа; www.server.name – ім'я www-сервера; directory / subdirectory – місце документа в структурі WEB -сервера; file.html – ім'я HTML-файла, що містить web-документ.

Електронні адреси найбільших бібліотек України:

Державна науково-технічна бібліотека України	http://gntb.gov.ua/ua
Бібліотека ім. М. Вернадського	http://www.nbuv.gov.ua/
Бібліотека Верховної Ради України	http://lib.rada.gov.ua/

Треба зауважити, що з розвитком електронних засобів інформації значення документальних джерел не знижується і потреба в них не зменшується.

3.5. Патентна документація

3.5.1. Поняття «права інтелектуальної власності»

Термін “права інтелектуальної власності” з’явився у французькому законодавстві кінця 18 ст. Такий підхід спирався на теорію природного права, яка одержала свій найбільший розвиток у працях французьких філософів-просвітителів Вольтера, Дідро, Руссо, Гельвеція. Відповідно до цієї теорії права суб’єкта будь-якого творчого результату є його невід’ємними, природними правами, що існують незалежно від визнання цих прав державою. Як і будь-яке право власності, права на результат творчої діяльності дають його власнику виключну можливість розпоряджатися результатами інтелектуальної праці на власний розсуд. Такі погляди на природу прав інтелектуальної власності були втілені в законодавстві революційної Франції.

Треба зауважити, що ще раніше права інтелектуальної власності захищалися законодавством деяких штатів США. Аналогічні норми містилися і в законодавствах Саксонії, Пруссії, Данії, Норвегії та деяких інших країн Європи. Однак батьківщиною законів про інтелектуальну власність в її сучасному розумінні вважається Англія. Саме тут ще 1623 р. за часів короля Якова Стюарта було прийнято “Статут про монополії”, яким проголошувалося виключне і незалежне від волі короля право кожного, хто створить і застосує

технічне нововведення, монополюю користуватися протягом 14 років вигодами і перевагами, які дає таке нововведення. В Англії 1710 р. з'явився ще один закон, відомий під назвою “Статут королеви Анни”. Ним автору надавалися особисті немайнові та майнові права на твір протягом 14 років від дати його створення з можливістю подовження цього терміну ще на 14 років за життя автора. Пізніше подібні закони були прийняті в інших європейських країнах та США [21].

Важливою віхою у становленні прав інтелектуальної власності стало підписання 1883 р. Паризької конвенції з охорони промислової власності – першої міжнародної угоди в цій сфері діяльності. 1886 р. було підписано Бернську конвенцію з охорони літературних та художніх творів, а 1967 р. у Стокгольмі – Конвенцію, якою засновувалася Всесвітня організація інтелектуальної власності (ВОІВ). Згідно з цією Конвенцією інтелектуальною власністю є права щодо конкретних результатів творчої діяльності у виробничій, науковій та художній сферах.

Поняття “права інтелектуальної власності” є узагальнюючим стосовно таких понять, як права на твори науки, літератури і мистецтва (авторські права); права на виконання, фонограми, відеограми, передачі організацій мовлення (суміжні права); права на винаходи, корисні моделі, промислові зразки (права промислової власності); права на фірмові найменування, знаки для товарів і послуг, зазначення походження товарів (права на позначення); права на відкриття, раціоналізаторські пропозиції, сорти рослин, породи тварин (права на нетрадиційні результати інтелектуальної діяльності).

3.5.2. Інститут патентних прав

На сьогодні, з прийняттям законів “Про охорону прав на винаходи і корисні моделі” [22] та “Про охорону прав на промислові зразки” [23], введених в дію з 1 липня 1994 р., з редакцією від 05.12.2012 р., в Україні встановлена патентна форма охорони прав на об’єкти промислової власності.

Суть патентної форми охорони прав: автору гарантується можливість отримання вигоди з монопольного володіння правами на нове технологічне, технічне або художньо-конструкторське рішення упродовж встановленого законом терміну. Від імені держави видається особливий охоронний документ, який засвідчує та гарантує права його власника – [*патент*](#).

Винахід – технологічне або технічне рішення, яке відповідає критеріям патентоспроможності. Правова охорона надається винаходу, який не суперечить суспільним інтересам, принципам гуманності і моралі та відповідає критеріям патентоспроможності.

Критерії патентоспроможності винаходу:

1. Новизна винаходу: винахід визнається новим, якщо він не є частиною рівня техніки. Поняття “рівень техніки” включає всі відомості, що стали загальнодоступними в світі до дати подання заявки до Патентного відомства України або, якщо заявлено пріоритет, до дати її пріоритету. Визначення новизни винаходу здійснюється шляхом порівняння сукупності його істотних ознак з ознаками об’єктів того ж призначення, які відомі з рівня техніки – виявляються [*аналоги*](#) винаходу.

2. Винахідницький рівень винаходу (характеризує внесок у науково-технічний прогрес). Винахід має винахідницький рівень, якщо для фахівця він не є очевидним. Перевірка винахідницького рівня включає виявлення: найбільш близького аналогу ([*прототипу*](#)); ознак, за якими відрізняється заявлений винахід від прототипу; рішень з рівня техніки, що мають ознаки, які збігаються з відмітними від прототипу ознаками заявленого винаходу.

3. Промислова придатність винаходу – принципова можливість використання у промисловості або іншій сфері діяльності.

Об’єктами винаходу є *продукт* (пристрій, речовина, штам мікроорганізмів та ін.), *процес* (спосіб), а також *нове застосування* відомого продукту чи процесу.

Під пристроєм розуміють систему розташованих у просторі елементів, що певним чином взаємодіють один з одним (машини, прилади, механізми, інструменти, транспортні засоби, обладнання, споруди тощо).

До способу як об'єкта винаходу належать процеси виконання дій над матеріальними носіями за допомогою матеріальних носіїв. Спосіб – це сукупність прийомів, які виконуються у певній послідовності або з дотриманням певних правил. Специфіка винаходів-способів виготовлення продуктів полягає в тому, що дія патенту, виданого на такий спосіб, поширюється і на продукт, безпосередньо одержаний цим способом.

Винахід на застосування раніше відомих продуктів чи способів не характеризується ні конструктивними, ні технологічними, ні якісними (рецептурними) ознаками. Його суть полягає у встановленні нових властивостей вже відомих об'єктів винаходу та визначенні нових галузей їх використання.

До результатів інтелектуальної творчої діяльності, які за Законом України “Про охорону прав на винаходи та корисні моделі” не визнаються патентоспроможними винаходами, належать такі об'єкти технології: сорти рослин і породи тварин, біологічні в своїй основі процеси відтворення рослин та тварин, що не відносяться до небіологічних та мікробіологічних процесів; топографії інтегральних мікросхем; результати художнього конструювання

Це не означає, що згадані об'єкти взагалі виключаються зі сфери правової охорони. Навпаки, більшість з них при відповідності встановленим у законі критеріям одержують правову охорону, але не як винаходи, а як інші об'єкти прав інтелектуальної власності. Основною підставою невизнання переліченого вище винаходами служить те, що вони не є технологічними або технічними рішеннями задачі, тобто не охоплюються поняттями продукту чи способу.

Корисні моделі – технічні нововведення, які за своїми зовнішніми ознаками дуже нагадують патентоспроможні винаходи, однак є менш значними з точки зору їх внеску до рівня техніки. В українському

законодавстві обов'язковим критерієм корисної моделі є те, що рішення задачі полягає в просторовому розташуванні матеріальних елементів. Корисними моделями не визнаються:

- проекти і схеми планування споруд, будинків, території;
- пропозиції, які стосуються лише зовнішнього вигляду виробів та спрямовані на задоволення естетичних потреб;
- пропозиції, які суперечать суспільним інтересам, принципам гуманності й моралі, а також деякі інші об'єкти, взагалі не охоплені поняттям технічних рішень.

Корисна модель є технічним рішенням задачі. Основні відмінності між винаходом і корисною моделлю полягають у двох моментах:

1. Як корисні моделі охороняються не будь-які технічні рішення, а лише віднесені до типу пристроїв.
2. Для одержання правової охорони на корисні моделі не вимагається їх відповідність критерію “винахідницький рівень”, але вона повинна мати новизну і промислову придатність.

Промисловий зразок – це результат творчої діяльності людини в галузі художнього конструювання [23]. Якщо винахід є технологічним або технічним вирішенням задачі, то промисловим зразком визнається рішення зовнішнього вигляду промислового виробу. Зовнішній вигляд промислового виробу повинен мати художньо-конструкторський характер (в ньому мають поєднуватися художні та конструкторські елементи). Використання лише художніх засобів (наприклад, зміна кольору виробу), як і одних тільки конструкторських засобів (наприклад, зміна розміру виробу) для правової охорони виробу як промислового зразка недостатньо. Художні та конструкторські елементи мають гармонійно поєднуватися і доповнювати один одного.

Промисловим зразком у широкому розумінні цього слова є будь-яке художньо-конструкторське рішення промислового виробу, яке визначає його зовнішній вигляд і призначене для задоволення естетичних та ергономічних

потреб. Правова охорона надається тим промисловим зразкам, які є новими і промислово придатними.

Предметом правової охорони інституту патентних прав є зміст авторських рішень. Головні принципи інституту патентних прав:

1). Визнання за патентовласником майнових прав, тобто права на використання запатентованого винаходу, корисної моделі чи промислового зразка, а також його виключного права перешкоджати, забороняти або дозволяти їх використання іншими особами. Цей принцип означає, що тільки патентовласник має право виготовляти, застосовувати, ввозити, продавати чи іншим способом вводити в цивільний оборот запатентований винахід, корисну модель або промисловий зразок, а всі інші особи повинні утриматися від їх використання, якщо це не санкціоновано патентовласником.

2). Дотримання розумного балансу інтересів патентовласника і суспільства. Одним з його проявів служить обмеження дії патенту визначеним терміном, після закінчення якого винахід, корисна модель чи промисловий зразок переходить у загальне користування. Крім того, для оцінки справжнього внеску в розвиток техніки проводиться експертиза рішень, що заявляються, а також створюються умови для ознайомлення усіх бажаючих з новітніми розробками.

3). Охорона лише тих об'єктів прав інтелектуальної власності, які офіційно визнані патентоспроможними винаходами, корисними моделями чи промисловими зразками. Для цього зацікавлена уповноважена особа повинна оформити та подати до центрального органу державної виконавчої влади, що відповідає за реалізацію політики у сфері інтелектуальної власності (Патентне відомство України), заявку, яка розглядається останнім з дотриманням визначеної процедури. У разі відповідності заявленого винаходу, корисної моделі чи промислового зразка встановленим критеріям патентоспроможності, приймається рішення про видачу патенту. Тільки тоді винахід, корисна модель чи промисловий зразок стає об'єктом правової охорони. Для інституту патентних прав велике значення має поняття

пріоритету, яке не використовується при визначенні авторських і суміжних прав. На державне визнання та охорону своїх прав можуть претендувати тільки ті заявники, які першими оформили заявку на видачу патенту.

4). Законодавством визнаються й охороняються права та інтереси не тільки патентовласників, а й справжніх творців винаходів, корисних моделей чи промислових зразків. Саме їм надається можливість отримати патент. Якщо право на його отримання має інша особа, наприклад, роботодавець, законодавство гарантує одержання авторами винагороди, рівнозначної вигоді, яка отримана або могла б бути отримана роботодавцем за умови належного використання винаходу, корисної моделі чи промислового зразка. За авторами, однак, у всіх випадках визнаються особисті немайнові права на створений ними об'єкт прав інтелектуальної власності, які є абсолютними, безстроковими і не можуть відчужуватися та передаватися.

В Україні визнають дію раніше виданих охоронних документів СРСР на винаходи і промислові зразки. Було встановлено добровільний порядок їх обміну на патенти України.

Поряд з винаходами і корисними моделями велику роль у науково-технічному прогресі відіграють **раціоналізаторські пропозиції**. Вони є найбільш масовим об'єктом прав інтелектуальної власності (технічної творчості). За їх допомогою удосконалюють вже відомі технологічні, технічні або організаційні рішення, здійснюється модернізація діючого обладнання, усуваються недоліки в роботі конструкторів, проектувальників.

Раціоналізаторською пропозицією називається визнана юридичною особою пропозиція або технічне рішення, яке має відносну новизну і є корисним для організації, в якій воно подано. Новим технічне рішення визнається в тому випадку, якщо воно в момент внесення пропозиції не відомо тій організації, якій адресовано. Корисною пропозиція визнається, якщо її використання дозволяє отримати позитивний ефект. Ознаки раціоналізаторської пропозиції: технічний характер, новизна, користь.

3.5.3. Права та обов'язки патентовласників

Автором винаходу, корисної моделі чи промислового зразка визнається фізична особа, творчою працею якої вони створені. Для визнання особи автором відповідного рішення не мають значення ні вік, ні стан дієздатності. Авторами можуть бути особи без громадянства, які проживають на території України. Якщо в створенні винаходу, корисної моделі чи промислового зразка брали участь кілька фізичних осіб, усі вони вважаються його авторами. Як свідчить статистика, частка винаходів, корисних моделей чи промислових зразків, створених спільною творчою працею двох і більше осіб, постійно зростає і нині становить майже 80% від їх загальної кількості, при цьому не обов'язково, щоб всі співавтори робили однаковий творчий внесок у спільний результат.

Патентовласником є особа, яка отримала патент на винахід, корисну модель чи промисловий зразок і тим самим патентні права. Ним може бути автор, його спадкоємець чи інший правонаступник.

За статистикою, патентовласниками найчастіше є не творці винаходу, корисної моделі чи промислового зразка, а інші особи. Законодавство України надає авторові можливість передати належне йому право на одержання патенту будь-якій фізичній або юридичній особі.

За загальним правилом, роботодавець має право на одержання патенту на будь-який винахід, корисну модель чи промисловий зразок, створений працівником (так званий службовий винахід):

- у зв'язку з виконанням ним службових обов'язків чи дорученням роботодавця, за умови, що трудовим договором не передбачено інше;
- з використанням досвіду, виробничих знань, секретів виробництва і обладнання роботодавця.

Власниками патентів в Україні можуть бути не тільки українські, а й іноземні фізичні та юридичні особи.

При успадкуванні патентних прав як за законом, так і за заповітом, до спадкоємців автора переходять не всі його права, а лише ті, які забезпечують

майнові інтереси спадкоємців (право на подачу заявки, видачу патенту, одержання винагороди).

Права патентовласника мають характер:

1) Абсолютний – особами, які зобов’язані утримуватися від використання винаходу, корисної моделі чи промислового зразка, виступають усі інші (окрім патентовласника) члени суспільства, на яких поширюються закони даної держави.

2) Виключний – права на винахід, корисну модель чи промисловий зразок можуть належати лише одному патентовласнику. Але на той самий винахід, корисну модель або промисловий зразок в різних країнах патент може бути виданий різними особам.

3) Терміновий – патентні права діють упродовж визначеного періоду часу. За українським законодавством строк дії будь-якого патенту починається від дати подання заявки до Патентного відомства України.

Пріоритет, авторство і право власності на винахід засвідчуються патентом (деклараційним патентом), на корисну модель – деклараційним патентом. Строк дії патенту на винахід становить 20 років від дати подання заявки, деклараційного патенту на винахід – 6 років, патенту на корисну модель – 10 років, а патенту на промисловий зразок – 10 років із можливістю продовження терміну його дії ще на 5 років за клопотанням патентовласника. Оскільки від дати подання заявки до дати видачі патенту минає певний час, реальний строк дії патентних прав є трохи меншим, аніж самого патенту.

Продукт (пристрій, речовина тощо) визнається виготовленим з використанням запатентованого винаходу чи корисної моделі, а спосіб, що охороняється патентом на винахід, – застосованим, якщо в ньому використана кожна ознака винаходу чи корисної моделі, що включена до незалежного пункту формули, або еквівалента йому ознака. Промисловий виріб визнається таким, що виготовлений з використанням запатентованого промислового зразка, якщо він містить усі його суттєві ознаки.

Патентовласнику належить право на використання запатентованих винаходу, корисної моделі та промислового зразка на свій розсуд, якщо це не порушує прав інших патентовласників. Крім того, йому належить виключне право перешкоджати, забороняти або дозволяти іншим особам використовувати зазначені винахід, корисну модель чи промисловий зразок, за винятком випадків, коли таке використання відповідно до законодавства України не є порушенням прав інших патентовласників. Патентовласник може самостійно розпоряджатися належними йому правами шляхом організації промислового виробництва і реалізації продукції або може надати дозвіл на використання зазначених об'єктів прав інтелектуальної власності іншим особам чи зовсім поступитися своїми майновими правами на ці об'єкти. Поряд з поступкою патентовласник може видавати дозволи на використання його винаходу, корисної моделі чи промислового зразка іншим особам. Це робиться шляхом укладання ліцензійного договору.

Ліцензія – дозвіл власника патенту (ліцензіара), що видається іншій особі (ліцензіату), на використання винаходу (корисної моделі) на певних умовах.

Обов'язки патентовласника:

1) Сплачувати збори і державне мито за дії, пов'язані з охороною прав на винаходи, корисні моделі чи промислові зразки. За патент є декілька видів платежів: за проведення експертизи, за видачу патенту, щорічні мита для підтримання патенту в дії. Найвищі мита – наприкінці строку дії патенту.

2) Використання запатентованого. Якщо патентовласник не використовував винахід, корисну модель чи промисловий зразок протягом трьох років, починаючи від дати публікації відомостей про видачу патенту, і він відмовляється укладати ліцензійний договір, зацікавленим особам може бути видана примусова ліцензія.

Підставами для дострокового припинення патенту є: відмова патентовласника від своїх прав повністю або частково; несплата у

встановлений строк річних зборів за підтримання чинності патенту; визнання патенту недійсним повністю або частково [21].

3.5.4. Пошук патентної документації

Патентна документація – це сукупність публікаційних і непублікаційних документів, які містять звіти про результати науково-дослідних, проектно-конструкторських та ініціативних розробок, заявлених або визнаних відкриттям, винаходом, промисловим зразком, корисною моделлю, а також відомості про охорону прав патентовласників, власників дипломів і свідоцтв про реєстрацію промислових зразків і корисних моделей. Патентна документація зберігається в патентних фондах, які є складовою частиною довідниково-інформаційних фондів інформаційних служб.

Патентний фонд – систематизована сукупність патентних документів з довідково-пошуковим апаратом.

Важливою особливістю патентної документації є однотипне викладення змісту. В Україні офіційний бюлетень "Промислова власність", де публікуються всі відомості про винаходи, корисні моделі, промислові зразки та видані патенти, видається з 1993 року. Періодичність видання встановлювалася виходячи з обсягу матеріалів, що надійшли на публікацію. З квітня 2007 року офіційний бюлетень видається двічі на місяць у двох книгах, з 2005 року – на оптичному носіїві.

Міжнародна патентна класифікація (скор. МПК, англ. International Patent Classification) — ієрархічна система патентної класифікації, що була створена відповідно до Страсбурзької угоди про міжнародну патентну класифікацію 1971 року і з того часу регулярно оновлюється Комітетом Експертів, що складається із представників країн-учасниць цієї угоди, а також спостерігачів від інших організацій [24]. Кожна нова версія МПК позначається роком і місяцем набрання чинності цією версією, наприклад МПК-2011.01. Діюча версія – МПК-2015.01 – вступила в силу 1-го січня 2015.

МПК має на меті розподілити описані винаходи, а також інші патентно-інформаційні документи по тематичним рубрикам для полегшення пошуку потрібних матеріалів. Класифікація технічних рішень, яка застосовується, являє собою багатоступеневу систему розподілу понять, організовану по принципу від загального до часткового. У відомих класифікаціях винаходів використовуються: предметно-тематичний (галузевий), функціональний (можливість виконання функції), змішаний принципи поділу системи понять.

Предметно-тематичний принцип допускає класифікацію об'єктів в залежності від їх застосування в тій чи іншій галузі техніки.

Функціональний принцип класифікації передбачає такий розподіл класифікованих об'єктів, який враховує тотожність основних функцій або ефекту, який досягається, незалежно від їх галузевого застосування.

МПК складається з розділів, підрозділів, класів і підкласів. Розділи позначаються заголовними буквами латинського алфавіту: А – життєві потреби людини, В – виконання операцій; транспортування; С – хімія і металургія; D – текстиль, папір; Е – будівництво; F – машинобудування, освітлювання, опалювання, зброя, підривні роботи; G – фізика; H – електрика.

Розділи поділяються на підрозділи, підрозділи – на класи, класи – на підкласи, які позначаються рядковими (малими) приголосними буквами. Підкласи діляться на групи, які позначаються непарними цифрами, а підгрупи – парними. Це дає можливість при необхідності вводити нові рубрики.

Наприклад: B29в 1/00 – попередня обробка металів перед формуванням; B29в 1/032 – таблетування.

Перша підгрупа в кожній групі позначається індексом 00. Вона є запасною рубрикою для індексації таких винаходів, які не можуть бути заіндексованими за допомогою наступних підгруп даної групи.

Патентний пошук – різновид інформаційного пошуку, що здійснюється переважно у фондах патентної документації з метою забезпечення патентоспроможності технічного рішення або патентної чистоти об'єкта, а також для встановлення умов реалізації прав патентовласника. З урахуванням

особливостей патентної документації виділяють три основні групи цілей патентного пошуку:

- *встановлення рівня технічних рішень* проводиться при плануванні науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт. Глибина – 7 – 10 років;
- *встановлення об'єму прав патентовласника*, що пов'язано з економікою експортних і патентно-ліцензійних операцій.

Патентний пошук аналогічний пошуку патентної науково-технічної документації. До основних видів пошуку відносяться: тематичний (предметний), іменний, по номеру документа, по даним пріоритету, по виду документа (патент або авторське свідоцтво).

Якщо шукають документ по його *тематичному* аспекту, то в якості пошукового зразка можуть виступати: перелік ключових слів, індекси різних систем класифікації, назва документа. При *іменному* пошуку (по прізвищу або найменуванню) в якості пошукового зразка використовуються відповідні імена заявника або патентовласника.

При пошуку патентної документації також доцільно використовувати мережу Інтернет. Так, патентну документацію України, Росії, Європейського Союзу можна переглянути на відповідних сайтах:

www.sdip.gov.ua → інформаційні ресурси → електронні інформаційні ресурси → бази даних, інформаційно-довідкові системи → спеціалізована БД «Винаходи (корисні моделі) в Україні»;

www.fips.ru → информационные ресурсы → информационно-поисковая система (для входу в безкоштовні бази даних потрібно ввести ім'я користувача і пароль **guest**) → патентные документы РФ → поиск;

www.espacenet.com → espacenet patent search → open espacenet at the EPO
або → open espacenet at the EC

Опис до патентів має свої позначення і скорочення, наприклад:

(10) – публікаційний номер в базі даних ICM

- (11) – код країни, № документа, вид документа
 (19) – країна, де зроблено винахід
 (21) – номер, присвоєний заявці
 (22) – дата подачі заявки
 (40) – дата представлення документа для загального ознайомлення
 (46) – дата опублікування
 (51) – міжнародна патентна класифікація (або міжнародна класифікація винаходів)
 (52) – національна класифікація
 (54) – назва винаходу
 (57) – реферат або формула винаходу
 (72) – найменування винахідника
 (73) – найменування власника охоронного документа



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **97709** (13) **C2**
 (51) МПК (2012.01)
B64G 1/42 (2006.01)
F03G 6/00
H02N 6/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2010 07422	(72) Винахідник(и): Філіпчук Степан Павлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 14.06.2010	(73) Власник(и): Філіпчук Степан Павлович, вул. Доброхотова, 28, кв. 61, м. Київ, 03142 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 12.03.2012	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 4634343, 06.01.1987 JP 04185600, 02.07.1992 RU 2051462, 27.12.1995 US 5408167, 18.04.1995 RU 80902, 27.02.2009 RU 2062247, 20.06.1996 SU 1138784, 07.02.1985
(41) Публікація відомостей про заяву: 10.11.2010, Бюл.№ 21	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.03.2012, Бюл.№ 5	

(54) СВІТЛОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ

(57) Реферат:

Світлова електростанція містить сонячну батарею, осцилятор та магнітоелектричний привід. Додатково електростанція має обгінну муфту, пружинний привід та електрогенератор. Магнітоелектричний привід має електрокотушку, яка через постійні магніти з'єднана з важелями. Сонячна батарея з'єднана через осцилятор з магнітоелектричним приводом. Вал магнітоелектричного приводу з'єднаний через вал обгінної муфти, з яким з'єднані важелі, з пружинним приводом, який, в свою чергу, через ротор електрогенератора з'єднаний з пристроєм споживання електроенергії.

UA 97709 C2

Інформацію про видані патенти можна отримати з допомогою збірника «Промислова власність».

3.6. Оформлення списку використаних джерел

Бібліографічний опис документів здійснюється за державним стандартом України [25].

Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел до наукової роботи:

Книги одного автора

Терський С. В. Княже місто Володимир / С. В. Терський ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2010. – 320 с. : іл. – Бібліогр.: с. 275–298.

Tymkiv Ya. Ukraina wobec problemów i instytucjonalizacji bezpieczeństwa europejskiego / Ya. Tymkiv. – Toruń : Wyd-wo Adam Marszałek, 2009. – 346 s. – Bibliogr.: s. 284–346.

Книги двох і трьох авторів

Бородіна А. І. Бібліографічний словник діячів у галузі математики / Бородіна А. І., Бугай А. С. ; за ред. І. І. Гіхман. – Київ : Рад. шк., 1979. – 606 с. *відомості про авторів за косою записують у тій формі і в тій послідовності, у якій вони вказані у джерелі інформації.*

Рильніков Б. С. Кафедра інженерного матеріалознавства та прикладної фізики : до 135-річчя заснування / Б. С. Рильніков, С. Г. Швачко ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2007. – 108 с.

Книги чотирьох і більше авторів

Архітектура Львова. Час і стилі XIII–XXI ст. / М. Бевз [та ін.] ; Ін-т архіт. Нац. ун-ту "Львів. політехніка", Громад. орг. "Ін-ти Львова". – Львів : Центр Європи, 2008. – 720 с. – Бібліогр.: с. 698–714.

Збірники праць та періодичні видання, серійні видання

Геодезія, картографія і аерофотознімання : укр. міжвід. наук.-техн. зб. / Нац. ун-т "Львів. політехніка" ; [відп. ред. К. Р. Третяк]. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2008. – Вип. 70. – 88 с.: іл.

Бобало Юрій Ярославович : біобібліогр. покажч. : до 70-річчя від дня народж. / Нац. ун-т "Львів. політехніка", Наук.-техн. б-ка ; [уклад. О. Б. Ніколюк ; бібліогр. редагування І. О. Белоус]. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 80 с. : іл., портр. – (Біобібліографія вчених Львівської політехніки ; вип. 56). *назву серії вказують в кінці бібліографічного опису*

Матеріали конференцій

Комп'ютерні науки та інформаційні технології : матеріали 4-ої Міжнар. наук.-техн. конф. CSIT' 2009, 15–17 жовт. 2009, Львів, Україна / Нац. ун-т "Львів. політехніка", Ін-т комп'ют. наук та інформ. технологій – Львів, 2009. – 510 с. – Парал. тит. арк. англ.

Фізика і технологія тонких плівок та наносистем : матеріали XV Міжнар. конф., 11–16 трав. 2015 р., Івано-Франківськ, Україна / Прикарпат. нац. ун-т ім. В. Стефаника [та ін.]. – Івано-Франківськ, 2015. – 108 с. – Парал. тит. арк. англ.

Багатотомні видання

Брик М. Т. Енциклопедія мембран = Encyclopedia of Membranes : у 2 т. / М. Т. Брик. – Київ : Видавн. дім "Києво-Могилян. акад.", 2005. – Т. 1. – 700 с.

Большой англо-русский словарь = New English-Russian dictionary : в 2-х т. : ок. 150000 слов / [сост.: Н. Н. Амосова и др.] ; под общ. рук. И. Р. Гальперина. – 3-е изд., стер. – М. : Рус. яз., 1979. – Т. 1 : А–Л. – 822 с. – Библиогр.: с. 32–33. – Парал. тит. л. англ.

Дисертації

Верес З. Є. Методи та засоби масштабування рухомих та нерухомих зображень : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.23 / Верес Зеновій Євгенович ; М-

во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів, 2015. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 130–140 (103 назви).

Автореферати дисертацій

Башта Б. Б. Хімічна модифікація карбоксилвмісних олігоестерів епоксидними сполуками : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. хім. наук : 02.00.06 / Богдана Богданівна Башта ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів, 2015. – 21 с. : іл., табл., граф., формули, схеми. – Бібліогр.: с. 17–19 (21 назва).

Законодавчі та нормативні документи, стандарти

Конституція України. Закон України "Про внесення змін до Конституції України" № 2222-IV від 8.12.2004 р. : прийнята на п'ятій сесії Верхов. Ради України 28 черв. 1996 р. – Київ : Велес, 2005. – 48 с. – (Серія видань "Офіційний документ").

ГСВО МОНУ. Галузевий стандарт вищої освіти України. Засоби діагностики якості вищої освіти рівня спеціаліст напряму підготовки 0502 «Менеджмент» за спеціальністю 7.050201 «Менеджмент організацій» кваліфікації «Спеціаліст з менеджменту у галузі діяльності, менеджер-економіст». – Вид. офіц. – Київ, 2003. – 35 с.

ГОСТ Р 517721–2001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования. – Введ. 2002–01–01. – М. : Изд.-во стандартов, 2001. – IV, 27 с. : ил.

Авторські свідоцтва та патенти

Пат. 43976 Україна, МПК⁶G01L 7/02. Оптоелектронний пристрій для вимірювання тиску / П. Г. Столярчук, Р. І. Байцар, В. С. Рак, М. П. Гінгін ; власник Нац. ун-т «Львів. політехніка». – № 2000105737 ; заявл. 10.10.2000 ; опублік. 15.01.2002, Бюл. № 1. – 2 с.

А. с. 1747944 СССР, МКИ⁴G01K 5/56, 7/32. Устройство для измерения температуры / В. А. Воронин, Е. П. Красноженов, Р. И. Байцар, А. В. Родионов, А. Н. Жирков, Н. Л. Маковский. – № 478566/10 ; заявл. 23.01.90 ; опублік. 15.07.92, Бюл. № 26.

Препринти

Шиляев Б. А. Расчеты параметров радиационного повреждения материалов нейтронами источника ННЦ ХФТИ/ANL USA с подкритической сборкой, управляемой ускорителем электронов / Шиляев Б. А., Воеводин В. Н. – Харьков, 2006. – 19 с. – (Препринт / НАН Украины, Нац. науч. центр «Харьк. физ.-техн. ин-т» ; 2006-4).

Депоновані наукові праці

Разумовский В. А. Управление маркетинговыми исследованиями в регионе / В. А. Разумовский, Д. А. Андреев ; Ин-т экономики города. – М., 2002. – 210 с. : схемы. – Библиогр.: с. 208–209. – Деп. в ИНИОН Рос. акад. наук 15.02.02, № 139876.

Методичні матеріали

Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 8.05130111 “Хімічні технології харчових добавок та косметичних засобів” / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 2015.

Архівні матеріали (позатекстові посилання)

Скорочення, прийняті в архівних документах : фонд – ф., опис – оп., справа – spr., аркуш – арк.

Протоколи засідання комісій по утворенню Української національної бібліотеки. Чернетки, 1918 р. // Центральний державний історичний архів України. Ф. 1235. Оп. 1. Спр. 1055. 4 арк.

Електронні ресурси:

Локальні ресурси

Комп'ютерний моніторинг і інформаційні технології [Електронний ресурс] : матеріали студент. наук.-практ. конф., 25 квіт. 2005, Донецьк / Донец. нац. техн. ун-т, Каф. комп'ютер. систем моніторингу. – Текст. і граф. дані (250 МБ). – Донецьк, 2005. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – Назва з етикетки диска. *слово «електронні» в інформації про вид ресурсу «Електрон. текст.*

дані» дозволяється опускати, якщо в описі є загальне позначення матеріалу – [Електронний ресурс]

Віддалені ресурси

Khmil I. Consolidating data for forming an information image of geospatial objects from heterogeneous social media [Electronic resourc] / I. Khmil // J. of Multidisciplinary Engineering Science and Technology. – 2015. – № 10, Vol. 2. – P. 2910–2912. – Access mode: <http://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42351144.pdf> (last access: 17.03.16).

Ліщук Р. І. Комп'ютерна система для випробувань стрілочних вимірювальних приладів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.05 – комп'ютер. системи та компоненти / Роман Ігорович Ліщук ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів, 2016. – 21 с. – Електрон. аналог друк. вид.: режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/32579> (дата звернення: 31.05.16).

В списку література оформлюється мовою першоджерела. Список літератури може формуватися трьома способами: по мірі появи посилань на літературу в тексті, в хронологічному порядку або по алфавіту.

Контрольні запитання

- 1. За якими ознаками класифікуються джерела інформації?*
- 2. Поясніть термін «старіння інформації».*
- 3. Що таке бібліографія?*
- 4. Перерахуйте основні види наукових творів*
- 5. Чим реферат відрізняється від огляду?*
- 6. Які види каталогів існують?*
- 7. Назвіть основні інформаційно-пошукові мови. На якому принципі вони побудовані?*
- 8. Принципи пошуку інформації в глобальній мережі Інтернет.*
- 9. Що таке WEB-технологія?*

- 10. Що належить до об'єктів прав інтелектуальної власності?*
- 11. Що таке винахід, корисна модель, промисловий зразок?*
- 12. Назвіть об'єкти винаходу та їх особливості*
- 13. За якими критеріями перевіряють патентоспроможність винаходів?*
- 14. Що таке аналоги і прототип винаходу?*
- 15. Хто може бути патентовласником?*
- 16. Які права і обов'язки має патентовласник?*
- 17. Як виконується пошук патентної документації?*

4. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Визначення задач експериментів. Види експериментів

Експериментальні дослідження поділяють на лабораторні та виробничі, пасивні та активні [11]

Лабораторні експерименти проводять з використанням типових приладів, спеціальних лабораторних установок, стендів, обладнання. Лабораторна установка за своїм зовнішнім виглядом може бути не схожа на виробниче обладнання, але обов'язково повинна моделювати технологічний процес. Лабораторні дослідження дозволяють найбільш повно, з потрібною повторністю вивчати вплив окремих факторів при варіюванні інших. Лабораторні дослідження при досить повному науковому обґрунтуванні експерименту дозволяють отримати наукову інформацію з мінімальними витратами. Однак такі експерименти не завжди повністю моделюють реальний хід процесу, що вивчається, тому виникає потреба у проведенні виробничого експерименту.

Виробничі експериментальні дослідження допомагають вивчити процес у реальних умовах з урахуванням впливу різних випадкових факторів виробничого середовища. Такі експерименти проводять на дослідно-промислових установках, змонтованих на підприємствах. Проведення виробничих експериментів пов'язано з вивченням промислових технологічних процесів. Для цього досліднику потрібні прилади для вимірювання певних параметрів і реактиви для визначення показників.

Для успіху наукового дослідження його необхідно правильно організувати, спланувати і виконувати в певній послідовності. Ці плани і послідовність дій залежать від виду, об'єкту і цілей наукового дослідження. Відповідно до вимог технології проведення наукового дослідження прийнято дотримуватися таких його загальних етапів:

1. Ознайомлення з проблематикою дослідження та обґрунтування актуальності його теми.

2. Визначення мети, вибір об'єкта й обґрунтування предмета дослідження та визначення цілей.

3. Аналіз стану розробленості проблеми дослідження та постановка його завдань.

4. Висунення гіпотези та розроблення теоретичних передумов проведення дослідження.

5. Вибір методів та засобів досліджень

6. Планування та організація дослідження.

7. Безпосереднє виконання теоретичного чи експериментального дослідження.

8. Обробка й аналіз результатів експериментального дослідження і оцінювання їх достовірності.

9. Практична апробація результатів дослідження та їхнє узагальнення.

10. Оформлення наукової роботи за результатами дослідження, її представлення та захист.

Реалізація більшості цих пунктів є подібною для одно- і багатофакторних експериментів. Суттєві відмінності між ними спостерігаються для пунктів 6 і 8, що й буде продемонстровано в розділах 6 і 7 відповідно.

На всіх етапах – перед постановкою експериментів, при їх проведенні, обробці результатів, аналізі отриманих залежностей – доцільно використовувати математичні методи. Це робить експеримент активним, дає можливість вирішити задачу отримання емпіричних залежностей із заздалегідь визначеною точністю при мінімальній кількості виконаних експериментів.

Попередньо розробляють проект виконання дослідження, в якому зазначають терміни виконання кожного етапу, розподіл роботи між виконавцями; форму подання результатів (звіт, стаття тощо).

Ознайомлення з проблематикою дослідження та обґрунтування актуальності його теми

Постановка задачі, вибір проблем або тем є складним завданням. До теми висувають ряд вимог. Вона повинна бути:

- *актуальною*, тобто потребувати вирішення на даний час. Визначення актуальності теми дає відповіді на питання "кому це потрібно?" або "якій галузі виробництва або знань і для чого необхідні запропоновані наукові результати?". Висвітлення актуальності не повинно бути багатослівним. Досить кількома реченнями висловити головне – сутність проблеми, з чого й впливе актуальність теми.

- *економічно ефективною і мати значущість*. Будь-яка тема прикладних досліджень повинна давати економічний ефект у народному господарстві. На стадії вибору теми дослідження очікуваний економічний ефект може визначатися, як правило, орієнтовно;

- *відповідати профілю наукового колективу*, оскільки кожен з них має свої кваліфікацію, профіль, компетентність. Однак якщо допускати монополію в науці, то виключається змагання ідей. Замовнику буде представлятися наукова продукція, яка не завжди може відображати найкращі показники. Виконуючи довгий час роботу по вузько спеціальній тематиці зі сталою методикою, деякі наукові працівники втрачають до неї цікавість. Тому в колективі може бути кілька непрофільних тем (до 10%), які не дуже відрізняються від основної тематики колективу [\[11\]](#);

- *здійснюмою і мати перспективи впровадження*. При розробці теми слід оцінити можливість її завершення у планові строки і впровадження у виробничих умовах замовника;

- *перспективною*, а значить стабільною. В період науково-технічної революції в процесі розробки тем, особливо довгострокових, їх актуальність та економічність можуть іноді погіршуватися, а витрати на виконання НДР збільшуватися. Щоб оцінити перспективність тем, застосовують два методи – математичний та метод експертних оцінок.

В основі показника перспективності K_e лежать економічні показники:

$$K_e = \frac{V_p C_{od} P_n P_e \sqrt{T}}{B_z + B_d + B_p},$$

де V_p – об’єм продукції за рік, виготовленої після впровадження, од/рік;
 C_{od} – вартість одиниці продукції, грн; P_n – вірогідність наукового успіху у розробці теми; P_e – вірогідність впровадження наукових розробок; T – тривалість виробничого впровадження у роках; B_z – загальні витрати на наукове дослідження, грн; B_d – витрати на дослідне та промислове освоєння, грн; B_p – щорічні витрати на виробництво продукції, грн.

Чим вище показник K_e , тим перспективніша тема. Показник перспективності теми може розраховуватися інакше:

$$K_e = \frac{E_z}{B_z} (1 - P_p),$$

де E_z – очікуваний загальний економічний ефект, P_p – імовірність ризику.

4.2. Визначення мети, вибір об’єкта й обґрунтування предмета дослідження

Правильна постановка та ясне формулювання нових проблем часом має не менше значення, ніж їх вирішення. По суті, саме вибір проблеми, якщо не цілком, то дуже великою мірою визначає як стратегію дослідження взагалі, так і напрямок наукового пошуку зокрема. «Сформулювати наукову проблему» означає показати вміння відокремити головне від другорядного, виявити те, що вже відомо і що досі невідомо науці з предмета дослідження.

Мета дослідження — це запланований результат. Результат має бути конструктивним, тобто спрямованим на вироблення суспільне корисного продукту з ліпшими, ніж було раніше, показниками якості або процесу її досягнення. Тому при формулюванні мети дослідження зазначають ефективність (економічну, соціально-економічну тощо), якої планують досягти.

Надалі формулюються об'єкт і предмет дослідження. Об'єкт – це процес або явище, що породжують проблемну ситуацію і обрані для вивчення. Предмет – це те, що міститься в межах об'єкта. Об'єкт і предмет дослідження як категорії наукового процесу співвідносяться між собою як загальне і часткове. В об'єкті виділяється та його частина, котра є предметом дослідження. Саме на нього і спрямована основна увага, саме предмет дослідження визначає тему наукової роботи [26].

4.3. Аналіз стану розробленості проблеми дослідження та постановка його завдань

Перед реалізацією власних експериментів необхідно ознайомитися з опублікованими працями за обраною темою. Слід переглянути всі види джерел, зміст яких пов'язаний із темою наукового дослідження. До них належать матеріали, надруковані в різних вітчизняних і зарубіжних виданнях, недруковані документи (звіти про науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, дисертації, депоновані рукописи, матеріали зарубіжних фірм), офіційні матеріали. Якісне опрацювання матеріалу, опублікованого у роботах інших учених, дозволяє відшукати витоки основних питань проблеми.

Як правило, працюючи над серйозним науковим дослідженням, доводиться переглядати багато книг і статей, з яких тільки приблизно п'ята частина увійдуть до бібліографії роботи, тобто будуть детально вивчені. Тому варто навчитися двох видів читання: «швидкого» і «повільного». «Швидке» читання (читання «по діагоналі») повинно відповісти на запитання, чи варто дану статтю або книгу уважно вивчати. Після того, як виконаний цей «попередній відбір», можна приступити до «повільного» читання, до глибшого вивчення вибраної літератури, переходячи від простого матеріалу до складнішого. Треба починати з книг, надалі ознайомлюватися зі статтями, спочатку вивчати вітчизняні джерела, потім — іноземну літературу. Починати пошук варто з нової літератури, а потім поступово «розмотувати клубок», користуючись посиланнями на інші джерела. Стан вивченості теми доцільно

аналізувати з інформаційних видань, метою випуску котрих є оперативна інформація як про самі публікації, так і найсуттєвіші моменти їх змісту. Нині випуском інформаційних видань займаються Український інститут науково-технічної та економічної інформації (УкрНТЕІ), Книжкова палата України, центральні наукові бібліотеки, Інститут реєстрації інформації НАН України (електронна газета «Все всім», реферативний журнал «Джерело»), служби науково-технічної інформації міністерств і відомств, деяких наукових установ. Найважливіші книги та статті треба обов'язково прочитати в оригіналі.

При читанні відібраної літератури треба робити помітки, бажано на одному боці аркуша стандартного формату; це дає змогу надалі компонувати матеріал у будь-якому порядку або, як кажуть, користуватися методом «клею і ножиць». Читаючи джерела, ліпше записати більше, бо заздалегідь не завжди відомо, що з цього матеріалу може знадобитися, повторний пошук — зайва втрата часу. Дуже велике значення має обробка записів по мірі їх накопичення. За систему зберігання записів можна взяти початковий план досліджень. Подальша обробка матеріалу повинна дати відповідь на питання щодо повноти зібраної інформації, чи досить її для роботи.

Вивчивши літературне джерело, відразу слід робити його повний бібліографічний опис. Вивчаючи літературу, не намагайтеся тільки запозичити матеріал. Паралельно обдумайте знайдену інформацію. Цей процес має тривати протягом усієї роботи над темою, тоді власні думки, які виникли в ході знайомства із чужими працями, стануть основою для отримання нового знання [26].

Ознайомлення з наявною інформацією дає можливість оцінити стан вивчення проблеми і виділити те, що досі залишається нез'ясованим і недослідженим. Саме це дозволяє сформулювати основні завдання дослідження.

Як правило, експериментальні дослідження проводяться для:

1) вивчення механізмів складних процесів і властивостей багатокомпонентних систем; виявлення закономірностей певного явища і встановленні кількісних співвідношень, які його характеризують;

2) оптимізації технологічних процесів і властивостей багатокомпонентних систем: визначення умов, які забезпечують певні оптимальні властивості системи і відповідають деякому критерію оптимальності.

Перелік конкретних завдань, які мають бути розв'язані відповідно до поставленої мети, зазвичай робиться у формі перерахування (вивчити..., описати..., встановити..., з'ясувати..., вивести формулу... і т. ін.). Формулювання названих завдань слід робити якомога ретельніше, оскільки опис їх вирішення становитиме зміст розділів наукової роботи.

4.4. Висунення гіпотези та розроблення теоретичних передумов проведення дослідження

Перед тим, як почати дослідження, необхідно на основі науково-технічної інформації висунути і розробити наукову гіпотезу, побудовану на ряді вже відомих фактів.

У перекладі з грецької слово «гіпотеза» означає підставу, припущення. У сучасному розумінні гіпотеза – це науково обґрунтоване припущення або про факт, що знаходиться за межами безпосереднього спостереження, або про закономірні зв'язки і закономірний порядок явищ, не перевірені науковими методами [27]. Іншими словами, гіпотеза – це припущення про причину, яка викликає даний наслідок.

Як тільки гіпотеза сформульована, вчений перевіряє її шляхом досліджень. Якщо спостереження не узгоджуються з гіпотезою, доводиться сумніватися у справедливості власної гіпотези або у точності спостережень. Тоді дослідник повторює спостереження, причому нерідко змінює постановку досліду, щоб розглянути досліджуване явище з іншого боку, або ж використовує іншу методику. Якщо науковець цілком впевнюється в тому, що його спостереження правильне, він відкидає свою гіпотезу або вносить у неї

поправки, які дозволяють пояснити нове спостереження. Дослідження можна проводити на базі кількох гіпотез.

Серед іншого, формулювання гіпотези передбачає вибір факторів, які впливають на результат, та меж їх зміни.

Перед початком проведення теоретичних досліджень здійснюють вибір і обґрунтування обмежень області дослідження та припущень.

Обмеження можуть бути дійсними (безумовними), викликаними незнанням, і помилковими.

Приклади *дійсного обмеження*: воду можна розглядати як рідину при нормальному тиску тільки в межах від 0 до 100 ° С; пружні коливання механічної системи можна розглядати тільки в межах напружень, обумовлених межею пружності тощо.

Дослідження динаміки машин та інженерних споруд, які подаються у вигляді схем тільки з дискретними масами, є результатом *незнання* теорії хвильових процесів, використовуючи яку можна отримати результат зазначених досліджень більш точним

Помилкові обмеження – результат упередженості. Відому задачу про дев'ять точок, які потрібно з'єднати чотирма прямими, не можна вирішити, якщо апріорно прийняти, що ці прямі не повинні виходити за периметр системи точок. При знятті цього обмеження задача вирішується легко (рис.4.1).

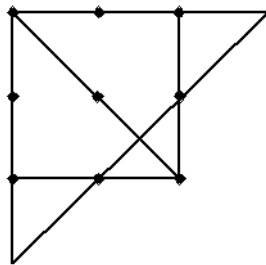


Рис. 4.1. Приклад зняття помилкового обмеження

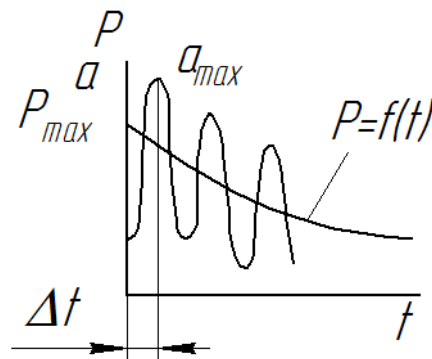


Рис. 4.2. Графік коливального процесу

Те, наскільки правильним є вибір припущень (виключення несуттєвого) залежить від досвіду та наукової інтуїції дослідника. Іноді для того, щоб переконатися в правильності того чи іншого припущення, робляться орієнтовні розрахунки, використовуються статистичні та інші дані. Нехай, наприклад, до деякої пружної системи, яка має кінцеву масу, раптово прикладається зовнішня сила P , що змінюється в часі t . Очевидно, при цьому виникнуть коливання системи. Якщо потрібно визначити максимальне значення амплітуд коливань $a_{\max}$, коли розглянута система є досить жорсткою (високочастотною), а час зміни зовнішньої сили відносно великий, то, очевидно, при складанні рівняння руху системи слід прийняти зовнішню силу постійною, рівною її найбільшій величині $P_{\max}$. Допустимість сказаного пояснюється тим, що за час Δt досягнення амплітуди значення $a_{\max}$ величина зовнішньої сили зміниться мало (рис.4.2), що істотно не вплине на величину амплітуди.

4.5. Вибір методів та засобів досліджень

Основою кожного наукового дослідження є методологія – сукупність методів, способів, прийомів та їх певна послідовність, прийнята при розробці наукового дослідження.

Метод (від грецького μέθοδος – «спосіб») – систематизована сукупність кроків, дій, які необхідно виконати, щоб вирішити певне завдання або досягти поставленої мети.

Вибір методу дослідження – один з важливих етапів наукового дослідження, це інструмент отримання фактичного матеріалу і необхідна умова досягнення поставленої в роботі мети. При цьому керуються кількома критеріями, найважливіші з яких: вартість роботи та економічна ефективність від її впровадження; повнота дослідження, що вимагається; час, який витрачається на проведення дослідження. Велике значення мають наявність відповідних спеціалістів, матеріальної бази.

Після встановлення теми, змісту і обсягу експериментальних робіт складається перелік засобів вимірювання, кількість необхідних матеріалів, реактивів, список виконавців, календарний план і кошторис витрат. Якщо НДР може бути виконана за допомогою стандартного обладнання, то дослідник безпосередньо бере участь у його підборі. При відсутності певних приладів можна використовувати допустимі заміни. Різні вимірювальні прилади, мірний посуд мають певні класи точності. Підбирати для роботи треба такі прилади або пристрої, які можуть забезпечити виконання даної роботи. Наприклад, якщо потрібно взяти наважку з точністю до 10 мг, то слід користуватися звичайними технохімічними вагами, а не аналітичними, які дають можливість зважувати з точністю до 0,1 мг. Оскільки правильний вибір засобів для вимірювання має надзвичайно великий вплив на правильність отриманих результатів, питання, пов'язані з характеристиками приладів і оцінюванням точності вимірювань, винесені в окремий розділ (див. [розділ 5](#)).

При використанні нестандартного обладнання дослідник повинен взаємодіяти з проектувальниками, конструкторами і виробниками.

Необхідність вимірювання обраних параметрів обумовлює потребу навести перелік найбільш вживаних приладів, їх особливостей та галузей застосування.

Прилади і вимірювальні перетворювачі для вимірювання температури

Температура є одним з найважливіших параметрів, що характеризують більшість процесів енергетичної промисловості. Вона вимірюється з допомогою загальнотехнічних приладів – термометрів, які випускаються приладобудівною галуззю. Термометри поділяються на:

1. Термометри розширення. Принцип дії базується на використанні властивості газів і рідин змінювати свій об'єм, а твердих стрижнів – довжину при зміні температури. Термометри розширення поділяються на рідинні, дилатометричні, манометричні.

Засоби вимірювання температури

Тип засобів виміру	Різновид засобів виміру	Межі застосування, °С	
		нижній	верхній
Термометри розширення	Рідинні скляні термометри	-200	+750
	Манометричні термометри	-200 (-272)	1000
Термометри опору	Термометри опору металеві	-260	1100
	Термометри опору напівпровідникові	-272	600
Термоелектричні термометри	Термопари	-200 (-270)	2200 2800
Пірометри	Оптичні пірометри	700	6000 (100000)
	Пірометри спектрального відношення	300	2800
	Пірометри повного випромінювання (радіаційні пірометри)	-50	3500

Принцип дії рідинних термометрів заснований на відмінності коефіцієнтів об'ємного розширення матеріалу оболонки термометра і рідини, розміщеної в ній. Такі термометри поділяються на технічні, лабораторні, спеціальні контактні (для замикання або розмикання ланцюгів електричного струму з метою підтримання постійної температури або сигналізації про досягнення заданого значення). Межі вимірювань від -100 до $+650^{\circ}\text{C}$.

Принцип дії *дилатометричних* термометрів заснований на використанні теплового лінійного розширення твердих тіл. В основному застосовуються в якості реле для сигналізації або двохпозиційного регулювання температури неагресивних газів і рідин. Межі вимірювання від -30 до $+550^{\circ}\text{C}$.

Принцип дії *манометричних* термометрів заснований на властивості газів змінювати тиск, а рідин – об'єм при зміні температури. Межі вимірювання від -50 до $+600^{\circ}\text{C}$. Використовуються для вимірювання температур неагресивних газів, парів і рідин.

Рідинні і дилатометричні термометри встановлюють по місцю, занурюючи їх чутливі елементи в рідину. Монтаж манометричних термометрів здійснюється на окремих панелях, щитах або пультах, або безпосередньо на технологічних установках на місці вимірювання температури.

2. Термоелектричні перетворювачі

Їх дія заснована на використанні термоелектричного ефекту. Термо- ерс, яка розвивається термоелементом термоелектричного перетворювача і яка відповідає температурі, що визначається, вимірюється з допомогою приладів (мілівольтметри і потенціометри), відградує в градусах температурної шкали. Межі вимірювання від -200 до $+2500$ °C.

Термоелектричні перетворювачі хромель- копелеві ТХК призначені для вимірювання температури від 0 до 150 °C різних газоподібних, сипких і рідких середовищ, а також температури поверхонь твердих тіл.

Монтуються в більшості випадків за допомогою патрубків, які приварюють до трубопроводів, резервуарів, ємностей або іншого технологічного обладнання, і штуцерів на захисній арматурі.

3. Термоперетворювачі опору

Принцип дії базується на використанні властивостей металів змінювати свій опір в залежності від зміни температури. Опір вимірюється з допомогою вимірювальних приладів (логометри і врівноважені мости), відградує в градусах температурної шкали.

Монтаж здійснюється з допомогою штуцерів і фланців, які постачаються заводами-виробниками, або спеціальних пристроїв кріплення, які виготовляються по місцю.

4. Пірометри випромінювання

Принцип дії – вимірювання енергії, яка випромінюється нагрітими фізичними тілами, без безпосереднього контакту з об'єктом. Межі вимірювання від $+20$ °C до ∞ . Застосовуються для вимірювання температури полум'я і газів в топкових камерах тощо, однак з розвитком

низькотемпературної пірометрії галузь використання пірометрів випромінювання буде розширюватися.

Прилади і вимірювальні перетворювачі для вимірювання тиску, перепаду тиску і розрідження

Це важливі параметри, які характеризують фізичний стан речовин, а також перебіг багатьох технологічних процесів. Тиск (розрідження) в ряді випадків є найважливішим показником подачі і перекачування палива, сировини та готової продукції.

Перепад тиску характеризує безпосередньо хід деяких технологічних процесів, але найчастіше прилади для його вимірювання використовуються як вторинні прилади, призначені для визначення витрати газоподібних і рідких речовин по методу змінного перепаду тиску.

Поділяються по принципу вимірювання на:

- з пружними чутливими елементами або деформаційні (з трубчастою манометричною пружиною, сильфонні і мембранні)
- рідинні (поплавкові та з видимим рівнем).

Принцип дії приладів з пружними чутливими елементами базується на використанні деформації або згинального моменту пружних чутливих елементів під дією тиску середовища, які перетворюють його в пропорційні переміщення або зусилля.

Таблиця 4.2.

Прилади для вимірювання тиску з пружними чутливими елементами

Найменування	Тип, модель	Межа вимірювання, МПа
Манометр показуючий пружинний	МОШ1-100	0,1;0,16;0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6;2,5; 4; 6
Манометри,	МТП-100/1-ВУ	0,6; 1; 1,6;2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60
	МТП-100/2-ВУ	-0,1÷0÷+0,5;

мановакуумметри показуючі, вібростійкі	МВТП–100/2–ВУ МТП–100/2–ВУ	–0,1÷0÷+0,9; –0,1÷0÷+1,5; –0,1÷0÷+2,4; –0,1÷0
Вакуумметри показуючі пружинні	ОБВ1–160	–0,1÷0

Є манометричні прилади з відліковими пристроями (і без них) і вихідним сигналом.

Принцип дії поплавкових приладів заснований на врівноваженні перепаду тиску, що вимірюється, стовпом робочої рідини, залитої в прилад, рівень якої вимірюється з допомогою поплавка в одній із судин. Судини поплавкових пристроїв розташовуються U-подібно.

Таблиця 4.3.

Прилади з відліковим пристроєм без вихідних сигналів

найменування	Тип, модель	Межа вимірювання, кПа
Тягоміри, напороміри, тягонапороміри мембранні показуючі	ТмМП–52 НМП–52 ТНМП–52	–0,16÷0; –0,25÷0; –0,4÷0;... –25÷0; –40÷0 0–0,16; 0÷0,25; 0÷0,4; 0÷0,6;...0÷40 –0,08÷0÷+0,08;... –20÷0÷+20
Дифманометри сильфонні показуючі	ДСП–780Н	6,3; 10; 16; 25; 40; 63

Принцип дії приладів рідинних з видимим рівнем (безпосереднього відліку) базується на врівноваженні тиску, що вимірюється (розрідження), стовпом робочої рідини. Нею в приладах можуть бути дистильована вода (типи ДТ–50, ТДЖ), ртуть (тип ДТ–50), етиловий спирт (ММН–240, ТНЖ–Н).

Покази приладів визначаються по різниці рівнів у двох сполучних судинах, з яких один або обидва зроблені з прозорого матеріалу.

При виборі вимірювального приладу слід враховувати, що при постійному або такому, що плавно змінюється, навантаженні номінальний вимірюваний тиск повинен перебувати в межах $1/3 - 2/3$ від максимального значення шкали, а при навантаженні, яке різко коливається – в межах $1/3 - 1/2$.

При вимірюванні відбір імпульсу проводять на тих ділянках, де відсутні зміни напрямку потоків.

Прилади і вимірювальні перетворювачі для вимірювання витрати рідин, газу, пари і розрахунку одиниць продукції.

Прилади для підрахунку одиниць продукції широко використовуються для оцінки продуктивності обладнання, а також при підрахунку сумарного випуску окремих одиниць готової продукції.

Прилади для неперервного вимірювання витрати і об'єму рідин, газу і пари по принципу дії поділяються на лічильники і витратоміри об'ємні і швидкісні. Крім того, для вимірювання витрати рідин, газу і пари застосовуються витратоміри постійного перепаду тиску – ротаметри, а для вимірювання витрати електропровідних рідин – електромагнітні витратоміри.

Принцип дії об'ємних витратомірів рідин і газів полягає у періодичному відсіканні певних постійних об'ємів речовини, яка протікає через їх вимірювальну камеру.

Таблиця 4.4.

Лічильники рідин об'ємні лопатеві

Тип, модель	Найбільша витрата, м ³ /год	Температура середовища, що вимірюється, °С	Робочий тиск, МПа
ЛЖ–100–10	105–67,5	–40...+60	0,8
ЛЖ–150П–64	270–165	–40...+60	6,4

Таблиця 4.5.

Лічильники об'ємні овально-шестеренчасті

Тип, модель	Найбільша витрата, м ³ /год	Температура середовища, що вимірюється, °С	Робочий тиск, МПа
ШЖУ–25–6	4,5–3,3	–40...+50	0,6
ШЖАО–60–16	17–11	–40...+50	1,6

Лічильники об'ємні поршневі призначені для вимірювання витрати неагресивних рідин (зокрема мастил) в трубопроводах, в'язкістю $(20-85) \cdot 10^{-6}$ м²/с, при тиску середовища, що вимірюється, 0,07–1 МПа і температурі 10 – 100 °С.

Витратоміри випускаються Івано-Франківським приладобудівним заводом «Промприлад» таких модифікацій: МПСП – які додають і показують, МПС – які додають, МПСФ – які додають і показують з вихідним феродинамічним перетворювачем.

Таблиця 4.6.

Модифікація	Верхня межа вимірювання, л/год
МПС	50; 250; 500; 800; 1250; 2000; 3200; 4000
МПСП	50; 250; 500; 800; 1250; 2000; 3200; 4000
МПСФ	50; 250; 500; 800; 1250; 2000; 3200; 4000

Лічильники і витратоміри швидкісні

Принцип дії базується на взаємодії чутливого елемента первинного вимірювального перетворювача з потоком рідини, який рухається. При цьому швидкість його руху пропорційна об'ємній витраті. В таких лічильниках чутливими елементами є вертикальні або горизонтальні крильчатки, ротори

турбінок або кулі, які обертаються в кільцеподібних камерах під дією рідини, що рухається.

Таблиця 4.7.

Лічильники і витратоміри швидкісні

Тип лічильників	Показники		
	Межа вимірювання, м ³ /год	Клас точності	Призначення
Лічильники води крильчасті		2; 5	Вимірювання витрати холодної (до 30°) води
УВК–20	0,06 – 2,5		
УВК–25	0,08 – 3,5		
УВК–32	0,1 – 5		
УВК–40	0,17 – 10		
Лічильники води турбінні		2; 5	Вимірювання витрати холодної (до 30°) і гарячої (до 90°) води
ВТ–50, ВТГ–50	1,6 – 30		
ВТ–80, ВТГ–80	3 – 84		
ВТ–100, ВТГ–100	4,5 – 140		
ВТ–150, ВТГ–150	7 – 300		
Витратоміри кулькові			Вимірювання витрати холодної і гарячої води в

			технологічних трубопроводах
ШТОРМ–8А	2 – 8	1,5	
ШТОРМ–50	8 – 50	2,5; 1,5	
ШРТ	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10	1,5	

Ротаметри рідин електромагнітні

Принцип дії заснований на утворенні в електропровідних рідинах, які перетинають магнітне поле, електрорушійної сили, яка пропорційна швидкості (витраті) рідини в трубопроводі, тобто в них здійснюється пряме перетворення швидкості потоку в електричний сигнал. Робочий тиск – не більше 2,5 МПа.

Таблиця 4.8.

Ротаметри рідин електромагнітні

Тип лічильників	Показники			
	Межа вимірювання, м³/год	Клас точності	Температура середовища, °С	Призначення
Індукційний з перетворювачем витрати типа “Індукція”	0 – 2500	1,5	30 – 50	Вимірювання витрати холодної (до 30°) води
Індукційний типу ІР–51	0,32 – 2500	1	–40.+150	
Електромагнітни й типу ІР – 61	0 – 1000	0,5	–40.+100	

Витратоміри постійного перепаду тиску (ротаметри)

Принцип дії ротаметрів заснований на зміні площі вихідного перерізу звужуючого пристрою при зміні витрати речовини, яка через нього проходить. При цьому перепад тиску на чутливому елементі (поплавку) залишається постійним. Протидіючою силою в ротаметрах є сила тяжіння поплавка. Ротаметри випускаються у вигляді місцевих приладів, що показують, або у вигляді безшкальних пристроїв з дистанційною електричною або пневматичною системою передачі показань приладу на відстань. Ротаметри, які застосовуються в промисловості, розраховані на граничний робочий тиск по рідині 0,6 МПа і температуру середовища 5–50 °С (типи РМ і РС), 5 – 100 °С (типи РПФ і РПМ), 5–150 °С (тип РПО), –40 – +70 °С (тип РЭ).

Таблиця 4.9.

Технічна характеристика показуючих ротаметрів

Тип лічильників	Показники		
	Верхня межа вимірювання (по воді), м³/год	Клас точності	Габаритні розміри, мм
РМ–А1	0,0025; 0,004; 0,0063	2,5; 4	160×35×40
РМ–2	0,016; 0,025; 0,04	2,5;4	360×24×24
РС–3А	0,00025; 0,0004; 0,00063; 0,0025; 0,004; 0,0063	4	160×45×35
РС–3	0,0025; 0,0063; 0,016; 0,04	2,5	400×24×24
РПФ (футеровка фторопластом)	100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500; 4000; 6300; 10000; 16000	1,5	344×242×182

РС	25; 40; 63; 100; 160...10000	2,5	470×195×210
РПО	100; 160; 250; 400; 630; ... 16000	1,5	

Лічильники об'ємні і швидкісні встановлюються на горизонтальних ділянках трубопроводів. Обов'язковою умовою при встановленні швидкісних лічильників є наявність перед ними прямої ділянки трубопроводу довжиною 8 – 10 D і після них 3 – 5 D (де D – діаметр трубопроводу). Для решти типів приладів ця вимога теж є бажаною. При пропусканні через лічильник рідин, що можуть містити домішки газів, треба встановлювати перед ним фільтр-газовідділювач, оскільки бульбашки повітря, газу або парів самої рідини, які містяться у рідині, що вимірюється, знижують точність вимірювань.

Ротаметри встановлюють тільки на вертикальних ділянках трубопроводу, при цьому весь канал повинен бути заповнений рідиною, що вимірюється.

Прилади і вимірювальні перетворювачі для вимірювання рівня рідин і сипких матеріалів

Рівнеміри і сигналізатори рівня механічні

Принцип дії полягає в силовому впливі рівня матеріалу, що вимірюється, на чутливий елемент – поплавок, що вільно плаває на поверхні рідини, або мембрану, щуп, лопать та ін.

Рівнемір гідростатичний типу ПИГ-2. Призначений для вимірювання і перетворення рівня на стандартний пневматичний сигнал. Клас точності 1, межа вимірювання, 0,1–10 м, температура навколишнього середовища 1–50°C, виробник – експериментальний завод НПО “Пищепромавтоматика” (Одеса).

Вказівник рівня типу УМП-100. Призначений для вимірювання рівня води в резервуарах, які перебувають під атмосферним тиском. Клас точності 4, межа вимірювання, 0–1 м, температура навколишнього середовища 5–60°C, виробник – Саранський приладобудівний завод.

Сигналізатор рівня маятниковий типу СУ-1Ф. Призначений для сигналізації рівня різних сипких матеріалів в бункерах. Чутливість – натискне зусилля спрацьовування 5,5 Н, виробник – Могильов-Подільський приладобудівний завод.

Реле рівня електро механічні С-609М. Призначений для сигналізації заданого рівня різних сипких матеріалів в бункерах. Чутливість – натискне зусилля спрацьовування 5,5 Н, виробник – одеський завод “Стройгидравлика”.

Рівнеміри і сигналізатори рівня рідин гідростатичні

Принцип дії заснований на вимірюванні тиску стовпа рідини або виштовхуючої сили, яка діє на тіло, опущене в рідину. В харчовій промисловості використовуються в основному буйкові рівнеміри типів УБ-Э, УБ-П, перетворювач рівня УБ-ЭИ. Рівнеміри типу УБ-Э випускаються з верхньою межею вимірювань від 0,02 до 16 м, всіх інших типів – від 0,25 до 16 м.

УБ-Э використовуються в комплекті з вторинними приладами, регуляторами та іншими пристроями автоматизації.

Рівнеміри і сигналізатори рівня електричні

Принцип дії заснований на вимірюванні електричних параметрів первинного вимірювального перетворювача, розміщеного в середовищі, що контролюється, в залежності від зміни рівня середовища. Використовуються для різних рідких і сипких середовищ, як електропровідних, так і діелектричних.

Рівнеміри кондуктометричні. Принцип дії заснований на вимірюванні електричного опору між електродами, які опускаються у середовище, що вимірюється, або електродом і стінкою ємності. Тип **СБК** (сигналізатор рівня блочний кондуктометричний) для рідин з питомою електричною провідністю до 0,015 См/м – погрішність сигналізації ± 4 мм, виробник – експериментальний завод НПО “Пищепромавтоматика” (Одеса). Тип **ЭРСУ-З** (регулятор-сигналізатор рівня) для рідин з питомою електричною провідністю

не менше 0,015 См/м – число контрольованих рівнів 4, погрішність сигналізації ± 5 мм, виробник – завод “Староруссприбор”.

Рівнеміри ємнісні. Принцип дії заснований на вимірюванні ємності вимірювального перетворювача (конденсатора), який занурений в контрольоване середовище, при зміні рівня останнього вздовж вісі перетворювача.

Рівнеміри типу РУС призначені для контролю рівня діелектричних і електропровідних рідин, і перетворення рівня в уніфікований токовий сигнал 0–5, 0–20 або 4–20 мА. Рівнеміри складаються із первинного перетворювача і передаючого вимірювального перетворювача. Клас точності 1; 1,5; 2,5. Межа вимірювання 0–0,4; 0–0,6; 0–1; 0–1,6; 0–2,5; 0–4; 0–6; 0–10; 0–16; 0–20. Тиск середовища, що вимірюється, до 10 МПа; в’язкість середовища – не більше 0,1 Па·с. Питома електропровідність середовищ, См/м: електропровідних – не менше 10^{-4} , неелектропровідних – не більше 10^{-6} .

Індикатор рівня електронний. Вимірюване середовище – рідини і сипкі середовища, не агресивні до сталі Х18Н9Т.

Рівнеміри високочастотні резонансні. В основі їх дії лежить ефект зміни резонансної частоти електромагнітних систем з розподіленими параметрами (відрізків довгих ліній, плоских спіралей з розподіленою міжвитковою ємністю і т.д.), які застосовуються в якості чутливих елементів.

Дискретно-аналогові рівнеміри і багатопозиційні сигналізатори типу РУДА призначені для вимірювання рівня гранульованих сипких діелектричних і електропровідних матеріалів, в тому числі паливних гранул та т.п. Клас точності 1; діапазон вимірювання, м: 6, 10, 16, 20, 25, 30.

Уніфіковані сигналізатори рівня призначені для контролю рівня в одній або двох точках рідких і сипких електропровідних і неелектропровідних середовищ, які перебувають під атмосферним і надлишковим тиском.

Уніфіковані сигналізатори рівня

Тип	Контрольоване середовище	Похибка спрацювання, мм	Температура середовища, °C	Робочий тиск, МПа
СУС–11	Дрібнофракційні сипкі середовища	± 20 для гранул розміром до 10 мм	$-30 \dots +50$	0,1
СУС–13	Рідкі електропровідні середовища	± 6	$-100 \dots +200$	0,1
СУС–14	Діелектричні середовища рідкі і сипкі	± 10 для рідких, ± 20 для сипких середовищ	$-100 \dots +250$	0,1; 2,5

Рівнеміри акустичні. Принцип дії заснований на відбиванні ультразвукових коливань від границі поділу середовищ з різним акустичним опором. Мірою рівня є час розповсюдження ультразвукових коливань від джерела випромінювання до площини поділу і назад. Застосовуються для неперервного автоматичного вимірювання рівня неоднорідних, таких, що кристалізуються і випадають в осад, середовищ, а також рівня сипких і кускових матеріалів з діаметром гранул 2–200 мм. Тип ЭХО-2У (одноточковий): клас точності 1; 1.5; межа вимірювання 0 – 16 м.

Рівнеміри радіоізотопні. Принцип їх дії заснований на зміні інтенсивності потоку гамма-випромінювань, який потрапляє на приймач випромінювання, при проходженні його через середовища, що вимірюються. Переваги – безконтактність і незалежність від властивостей середовища, що вимірюється.

Тип ГР-8: умови експлуатації – нормальні, температура середовища, що вимірюється $-30 \dots +50$ °С; маса датчика 1,29 кг, маса джерела випромінювання 143 кг.

При виборі і монтажі різних видів рівнемірів слід враховувати можливість виникнення додаткових похибок вимірювань за рахунок хвиль на поверхні рідин, конусів і заглиблень на поверхнях сипких матеріалів. Місце розташування цих приладів вибирають так, щоб по можливості усунути вплив подібних явищ. При необхідності для запобігання коливань рідин застосовують відповідні спеціальні пристрої (кармани, клапани, гребінки, решітки). Всі рівнеміри монтуються у суворо вертикальному положенні, за винятком оговорених в інструкціях випадків.

Прилади і вимірювальні перетворювачі для вимірювання складу і властивостей речовин

Аналіз складу газових сумішей в харчовій промисловості здійснюється з допомогою теплових (термокондуктометричні, термохімічні і термомагнітні), гальванічних, оптичних і фотометричних газоаналізаторів, складу рідин – аналізаторів електричних (кондуктометричні і потенціометричні) і оптичних. Останнім часом для аналізу складу рідких і газоподібних продуктів застосовують хроматографічні аналізатори – хроматографи, основані на сорбційному розділенні компонентів. Для аналізу властивостей рідин широко застосовуються різні густинімири і віскозиметри. Вологість твердих і сипких матеріалів вимірюється з допомогою вологомірів масових і електричних (кондуктометричних, ємнісних і ядерно-магнітного резонансу).

Прилади для вимірювання механічних величин

Вимірювальні та реєстраційні (самозаписуючі) пристрої поділяються на механічні, оптичні та електричні. До перших належать: механічні динамометри, тензометри, торсіометри (торсіографи), тахометри, акселерометри (акселерографи) і т. п. До других – кінознімальні і фототіньові

апарати, оптичні аналізатори і т. п. До третіх – вольтметри, амперметри, осцилографи (магнітоелектричні, електростатичні тощо).

За способами отримання інформації вимірювальні та реєстраційні пристрої поділяються на прилади, що показують і реєструють безпосередньо, і за допомогою перетворювачів.

Прикладом одного з перших є механічний динамометр. Навантаження P , величину якого потрібно визначити, прикладається до пружних елементів (пружин), які деформуються. За показником індикатора знаходять деформацію; знаючи жорсткість пружин, визначають силу P .

Для розрахунку деформацій і напружень досліджуваних об'єктів застосовують тензометри, що являють собою систему важеля з кернами на кінцях (для кріплення на об'єкті) і шкалою. Деформація об'єкта досліджень вказується в масштабі стрілкою на шкалі. Знаючи її, визначають напруження. Коливальні процеси механічних систем найпростіше дослідити за допомогою вібрметра. Прилад кріпиться на досліджуваному об'єкті і в ході експерименту рухається з ним синхронно. При цьому вантаж здійснює коливальні рухи. За шкалою можна судити про амплітудах і частоті коливання вантажу, а отже, і досліджуваного об'єкта.

Основний недолік механічних вимірювальних приладів – їх мала точність, внаслідок чого застосування їх досить обмежене. Для вимірювань, пов'язаних з дослідженнями механічних систем на міцність, деформацію і коливання, на сьогодні широко використовують електричні прилади, що видають інформацію за допомогою перетворювачів. Одним з найбільш поширених видів перетворювачів є *тензорезистори*. [28].

У вимірювальній техніці використовують також ємнісні, електромагнітні, електронні, гальваномагнітні і п'єзоелектричні перетворювачі. Їх робота заснована на використанні так званого п'єзоелектричного ефекту (від латинського *piezo* – стискаю). Названий ефект являє собою здатність деяких матеріалів при механічному навантаженні утворювати електричні заряди (прямий п'єзоефект), а при створенні

електричного поля – механічно деформуватися (зворотний п'єзоефект). В якості матеріалу п'єзоелектричних перетворювачів зазвичай використовують кварц і турмалін. Отримана від перетворювачів інформація передається через вимірювальну схему в осцилограф, який являє собою прилад, що дозволяє досліднику спостерігати на екрані і записувати у вигляді графіків досліджувані явища. За принципом роботи розрізняють осцилографи світлопроменеві та електронно-променеві. Основні елементи осцилографа: блок живлення, підсилювачі, пристрій, що перетворює вхідний сигнал в механічні коливання, записуючий пристрій, відмітчик часу, екран і т. д. За допомогою осцилографа можна записувати зміни в часі одразу кількох величин.

При розробці методики проведення експерименту необхідно:

- провести попереднє цілеспрямоване спостереження над досліджуваним об'єктом або явищем для визначення вихідних даних (гіпотез, вибору керованих факторів);

- створити умови, в яких можливо експериментування (підібрати об'єкти для експериментального впливу, усунути вплив випадкових факторів);

- визначити межі вимірювань;

забезпечити:

- систематичне спостереження за розвитком досліджуваного явища і точний опис фактів;

- систематичну реєстрацію результатів вимірювання і оцінювання факти різними засобами і способами;

- можливість створювати ситуації, що повторюються, змінювати характер впливу і організувати перехресні впливи;

- створення ускладнених ситуацій для підтвердження або спростування раніше отриманих даних;

- перехід від емпіричного вивчення до логічних узагальнень, до аналізу і теоретичної обробки отриманого фактичного матеріалу.

4.6. Планування та організація дослідження

Перед кожним експериментом складається його план (програма), який включає:

- мету і завдання експерименту;
- вибір керованих факторів;
- обґрунтування кількості дослідів;
- порядок реалізації дослідів, визначення послідовності зміни факторів;
- вибір кроку зміни факторів, завдання інтервалів між майбутніми експериментальними точками;
- обґрунтування вибору засобів вимірювань;
- опис проведення експерименту;
- обґрунтування способів обробки і аналізу результатів експерименту.

Достовірність результатів в досліді характеризується показником точності досліду p , та критерієм достовірності Стюдента. Як правило, чим більша точність досліду ($p = \pm m/M \%$), тим вищий критерій достовірності t . Тому при плануванні необхідного мінімального об'єму виборки ставиться завдання визначення об'єму виборки в такому розмірі, щоб вибіркова середня характеризувала об'єктивно існуючу гіпотетичну середню всієї сукупності із заданого рівня достовірності. Для цього використовується формула

$$n = \left(\frac{t \cdot \sigma}{m_{\bar{x}}} \right)^2, \quad (4.1)$$

де n – об'єм виборки; t – критерій Стюдента; σ – стандартне відхилення; $m_{\bar{x}}$ – планована помилка вибіркової середньої. Значення t залежить від рівня імовірності, який намічається дослідником.

Для 68,3 %-вого рівня імовірності – $t = 1$; для 95,5 %-вого – $t = 2$; для 99,7 %-вого рівня – $t = 3$. Необхідний для розрахунків показник стандартного відхилення σ одержується експериментально в процесі попередніх досліджень і для розрахунків може застосовуватись орієнтовно.

Приклад. Для автоматичних побутових твердопаливних котлів в пробних дослідженнях точності дозування пристрою подачі паливних гранул встановлено значення стандартного відхилення $\sigma=200$ г. Необхідно визначити, яку кількість дослідів з визначення маси паливних гранул потрібно провести з тим, щоб на 95%-му рівні імовірності середнє значення маси було визначене з помилкою не більше 50 або 75 г. Згідно з формулою (4.1) встановлюємо:

- для помилки ≤ 50 г: $n = \left(\frac{2 \cdot 200}{50}\right)^2 = 64$ дослідів;
- для помилки ≤ 75 г: $n = \left(\frac{2 \cdot 200}{75}\right)^2 = 28$ дослідів.

Тобто для одержання вибіркової середньої з помилкою не більше 50 г необхідно виміряти масу паливних гранул в 64 дослідях, а з помилкою 75 г – в 28 дослідях.

Детально планування одно- і багатофакторних експериментів наведено у розділах 6 і 7 відповідно.

При розробці плану-програми експерименту завжди необхідно прагнути до його спрощення, наочності без втрати точності і достовірності. Це досягається попереднім аналізом і співставленням результатів вимірювань одного і того ж параметра різними технічними засобами, а також методів обробки отриманих результатів.

До початку експерименту треба ознайомитися із приладами, навчитися ними користуватися і усувати невеликі несправності. При проведенні роботи слід створити сприятливі умови праці:

1. Апаратура, яка потребує регулювання, і ручки керування повинні бути зручно розташовані.
2. Показання легше знімати з вертикальної шкали, ніж горизонтальної, а ще краще, якщо шкала трохи нахилена назад.
3. Необхідне хороше освітлення.
4. Забезпечити доступ свіжого повітря.

5. Виділити зручне місце для ведення записів, бажано подалі від джерел води та тепла.

Приставаючи до експерименту, в останній раз уточнюють методику його проведення, послідовність дослідів. Іноді при цьому використовують метод рандомізації, який полягає в тому, що досліді проводять у випадковій послідовності, яка визначається з допомогою переліку випадкових чисел. Цим способом виключаються систематичні помилки, які можуть виникнути при суб'єктивному виборі послідовності досліджень. Припустимо, необхідно визначити послідовність проведення п'яти дослідів. Пронумеруємо їх: 1, 2, 3, 4, 5. Поставимо їх у відповідність будь-які п'ять послідовних чисел, взятих в будь-якому рядку або стовпчику випадкових чисел, наприклад, другий рядок 88, 40, 52, 02, 29, тобто 1 – 88, 2 – 40, 3 – 52, 4 – 0.2, 5 – 29. Розташувавши випадкові числа в порядку збільшення (зменшення), отримаємо послідовність проведення дослідів: 4, 5, 2, 3, 1 або 1, 3, 2, 5, 4.

4.7. Безпосереднє виконання теоретичного чи експериментального дослідження

Як правило, на початку роботи проводять пробні досліді. Необхідність їх проведення сприяє досягненню кількох цілей:

- 1) експериментатор знайомиться з роботою, засвоює методику експерименту, методи визначення різних показників;
- 2) перевіряється робота окремих елементів установки та апаратури;
- 3) з'ясовується потреба в часі для визначення певних показників, інтервали при вимірюванні кожної з величин, передбачених експериментом;
- 4) оцінюються можливості помилок при визначенні показників, що враховується в подальшому експерименті, більше приділяється уваги вимірюванню величин, похибка яких вносить головний внесок у похибку кінцевого результату.

При проведенні експериментальних робіт експериментатор повинен фіксувати всі характеристики процесу, що досліджується, не допускаючи суб'єктивного впливу на результати вимірювань. Іноді, намагаючись швидше

отримати потрібний результат, який підтверджує гіпотезу, дослідники вибирають тільки ті експериментальні дані, які добре узгоджуються із теоретичними припущеннями. В цьому випадку іноді втрачаються цінні дані про процес, які потім може бути складно відтворити.

При проведенні експерименту не можна обмежуватися однією величиною показів приладу або одним результатом аналізу. Вимірювання окремої величини слід повторити, принаймні, ще раз. Таке повторення допомагає уникнути помилки при знятті показань приладу та їх запису, а також дає можливість оцінити похибку вимірювання.

Запис показників, отриманих при проведенні експерименту

Запис результатів експерименту повинен бути ясным та економним, таким, щоб його легко можна було зрозуміти навіть через деякий час. Записи краще вести у зошитах, оскільки при цьому всі вони зосереджені в одному місці, нічого не може бути загублене. Однак у будь-якому експерименті, навіть не дуже складному, від одного вимірювання часто переходять до іншого, а потім повертаються до першого, і запис кожного з них виявляється розрізненим. Тому запис деяких результатів експерименту доцільно проводити на окремих аркушах.

Спосіб ведення записів треба вибирати в залежності від експерименту. Для використання переваг одного та іншого способів зручно поєднувати робочий зошит з окремими аркушами. Сторінки робочого зошиту треба пронумерувати, одну сторінку (на початку або в кінці) відвести для детального змісту [\[11\]](#).

Всі результати вимірювань слід записувати одразу ж без будь-якої обробки. Не можна проводити подумки навіть найпростіші арифметичні розрахунки, поки не буде записано результат вимірювання. Це викликано тим, що при усних розрахунках (особливо якщо це робиться поспіхом) можна зробити помилку, яку потім неможливо буде виправити без повторення досліду.

Правильність показників, які записуються, треба обов'язково перевіряти. Для цього, після того, як результат вимірювання записаний, треба ще раз поглянути на прилад і пересвідчитися, що запис правильний.

Слід також записувати серійний номер приладу, який використовується при вимірюваннях. При відсутності чітко написаного номеру, його можна нанести самому. Пізніше, якщо в ході експерименту виявляться певні неузгодження і, аналізуючи їх причини, виникне підозра про несправність приладу, треба буде знати, який саме прилад використовувався.

Всі записи треба датувати. Знання часу проведення експерименту або визначення певних окремих показників дозволить в подальшому більш ґрунтовно скласти план наступних дослідів. Крім того, буває, що деякі показники можуть змінюватися залежно від пори року.

Неприпустимий записувати результати вимірювань на уривках паперу або в чернетковому зошиті, потім їх переписувати, а оригінал знищувати. Таке ведення записів пов'язане із великою витратою часу, при переписуванні можливі помилки, крім того, при цьому майже неможливо уникнути відбору записаних даних.

В більшості експериментів використовуються не всі данні вимірювань. Переглядаючи їх, експериментатор приходить до висновку, що деякі з них не досить показові, або отримані при не досить вдалих умовах або ж не мають відношення до даного питання. Таким чином відбираються записи результатів вимірювань. В ході ж експерименту може знадобитися інший підбір показників вимірювань, тому всі первинні данні вимірювань треба обов'язково зберігати, не переписуючи. Тільки по первинним експериментальним даним можна зробити висновок про правильність проведеного відбору і про характер самих показників, які визначаються.

Іноді експериментальні дані буває необхідно переписати. Переписування часто допомагає досягти ясності, бажаної не тільки заради неї самої, але і для уникнення помилок при обробці результатів. Так, якщо треба об'єднати результати, записані в різних місцях, або знадобляться дані для

побудови графіку, порівняння цифр між собою, переписування необхідно. Але, переписуючи експериментальні дані на інший аркуш або в інший зошит, слід зберігати початкові записи в тому вигляді, в якому вони отримані в ході експерименту.

Число, яким виражають результат вимірювання, повинно характеризувати не тільки чисельне значення результату, але і відтворюваність методу. Для цього в результаті треба писати стільки *значущих цифр*, щоб лише остання цифра була сумнівною, а передостання – достовірною. Наприклад, є різниця між позначенням величини наважки 0,10000 г та 0,10 г. Перше число означає, що наважку (одну десятю долю грама) зважували на аналітичних вагах з точністю до однієї десятитисячної граму, а друге число означає, що ту ж саму наважку зважували на технічних вагах з точністю до однієї сотої граму. Якщо відміряли 25 мл рідини мірним циліндром, треба писати, що взято 25 мл. Вимірювання об'єму мірним циліндром може дати помилку ± 1 мл; тому останній знак числа є сумнівним. Якщо ж відміряти 25 мл рідини добре перевіреною піпеткою, то результат вимірювання потрібно записати 25,00 мл.

Слід пам'ятати, що збереження великої кількості значущих цифр (яка перевищує точність визначення) характеризує не точність результатів, а лише невміння виконавця поводитися з результатами вимірювань.

При записі результатів треба слідкувати за тим, щоб всі числові значення були однакови́ми по порядку величинами. Наприклад:

2.05; 2.06; 2.10; 2 (невірно!); 2.00; 2.32 (невірно!); 2.30; 2.411 (невірно!); 2.41.

Зведення чисельних даних у таблиці

Результати вимірювань бажано записувати у вигляді таблиць, що більш компактно і зручно для читання. Значення однієї і тієї ж величини краще записувати у вертикальний стовпчик, тому що при цьому легше порівнювати числа. На початку кожного стовпчику слід писати символ або назву відповідної величини і одиницю вимірювання.

Таблиця чисельних даних

Час, хв.	Температура, °C	Тиск, кПа
10	112	88
20	240	176
30	372	220
40	476	240
50	556	260
60	692	280

Іноді буває зручно показники, за якими спостерігають, розташовувати горизонтально, в рядок. Групи даних вимірювань різних величин необхідно розділяти досить великими пробілами і кожній з них давати заголовок. Якщо серію вимірювань треба звести до одного, наприклад, середнього значення, то бажано його не тільки відповідно позначити, але і певним чином виділити.

Ніколи не слід в записах виправляти цифри, оскільки сам автор не завжди може прочитати їх через певний час. Краще їх закреслити і поряд написати вірні цифри.

Слід пам'ятати, що до повного завершення експерименту, включаючи і обробку отриманих результатів, не можна розбирати експериментальну установку.

4.8. Обробка й аналіз результатів експериментального дослідження і оцінювання їх достовірності

При розрахунках завжди треба враховувати точність, з якою проводяться вимірювання величин. Однією з найгрубіших помилок, які найчастіше зустрічаються при обчисленнях, є надмірна, невиправдана точність обчислень.

При математичних операціях з величинами, які виміряні з різною точністю, треба суворо дотримуватися таких правил:

1. Кількість знаків у результаті, отриманому під час дослідів, повинно вказувати на точність вимірювання, причому передостанній знак повинен бути точним, а останній – наближеним.

2. При арифметичних діях над приблизними числами діють так:

а) при додаванні, відніманні, множенні й діленні зберігають після коми стільки значущих цифр, скільки їх є в числі, виміряному з найменшою точністю;

б) при піднесенні до степені та добуванні кореня зберігають в результаті обчислення стільки значущих цифр, скільки їх є у числі, яке підноситься в степінь або з якого добувається корінь;

в) при логарифмуванні в результаті обчислення зберігають в мантисі стільки значущих цифр, скільки їх є у числі, що логарифмується.

Наприклад, при додаванні чисел 0,284; 25,86 та 3,5894 необхідно залишати в кожному числі два знаки після коми:

$$0.28 + 25.86 + 3.59 = 29.73$$

Приклад. Маса речовини m визначена на технічних вагах з точністю до 0,01 г, а об'єм V виміряний мензуркою з точністю до 0,1 мл. При цьому отримано: $m=28,34$ г; $V=8,4$ мл.

При обчисленні густини ρ немає потреби у діленні з точністю до четвертого знаку, наприклад:

$$\rho = \frac{28.34}{8.4} = 3.3738, \text{ треба } \rho = \frac{28.34}{8.4} = 3.4.$$

3. При округленні наближених чисел або результатів дій над ними розрізняють два випадки:

а) якщо цифра, що відкидається, менше 5, то попередня цифра, яка залишається в результаті, не змінюється;

а) якщо цифра, що відкидається, дорівнює або більше 5, то попередня цифра, яка залишається в результаті, збільшується на одиницю.

4.8.1. Графічне оформлення результатів досліджень

Кінцевим результатом суто статистичного аналізу зазвичай є єдине числове значення та ще кілька сторінок пояснювального тексту. Для статистичного висновку характерна відсутність високої точності і достовірності результатів, необхідних спеціалістам в галузі техніки, і це зовсім не дивно, оскільки математична статистика найчастіше застосовується в експериментах з великими похибками і невисокою точністю результатів. Графічні матеріали викликають більшу довіру. Із графіків більш наочно, ніж з таблиць, видно залежність між показниками, що вивчаються, більш чітко видні точки екстремумів і характер перебігу процесу. Графіки дозволяють представити дані у наочній формі при мінімальній їх обробці. Дослідників не турбують сумніви, які супроводжують процес формальних математичних обчислень, для виконання яких потрібні десятки даних, а в результаті отримують одне або в кращому разі декілька чисел. Як засіб подання інформації, а також як засіб, що забезпечує видачу максимальної інформації на мінімальному просторі, графіки незамінні [11].

Вибір координатних сіток

При графічному зображенні результатів експерименту велику роль відіграє вибір системи координат або координатної сітки. Координатні сітки бувають рівномірними і нерівномірними. У рівномірних координатних сіток ординати і абсциси мають рівномірну шкалу. Наприклад, в системі прямокутних координат довжина одиничних відрізків, які відкладаються, однакова.

Із нерівномірних координатних сіток найбільш розповсюджені напівлогарифмічні, логарифмічні та *імовірнісні*. Напівлогарифмічна сітка має рівномірну абсцису і логарифмічну ординату. Логарифмічна координатна сітка має обидві вісі логарифмічні (рис.4.3), імовірнісна – ординату, яка звичайно рівномірна і абсцису – імовірнісну шкалу. Зрозуміти принцип побудови логарифмічних шкал можна, співставивши числа від 1 до 10 з їх

логарифмами (інтервали між сусідніми числами для них постійно зменшуються):

X	lgX	X	lgX
1	0	6	0,778
2	0,301	7	0,845
3	0,477	8	0,903
4	0,602	9	0,954
5	0,699	10	1

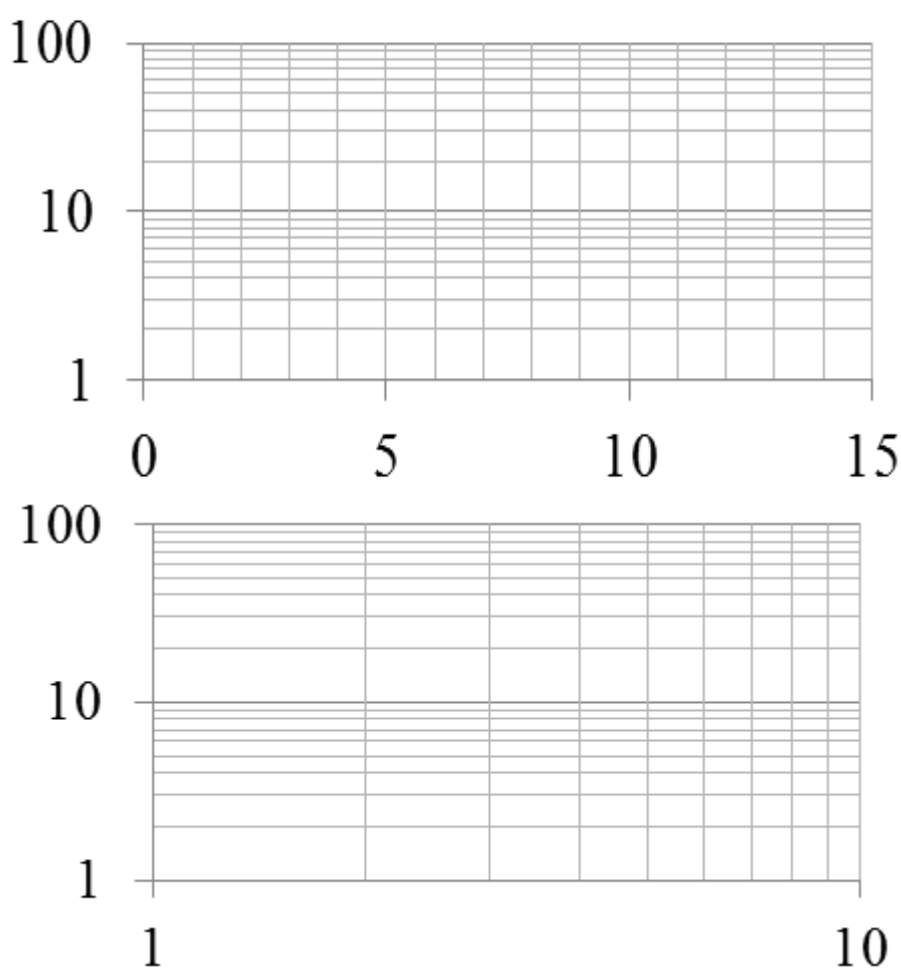


Рис.4.3. Нерівномірні координатні сітки:

а – напівлогарифмічна, б – логарифмічна

Призначення нерівномірних сіток різне. В більшості випадків їх застосовують для більш наочного зображення функцій. Функція $y=f(x)$ має різну форму на різних сітках. Так, багато криволінійних функцій спрямляють на логарифмічних сітках.

Вибір масштабу

При виборі масштабу для побудови графіків треба виходити з таких міркувань:

1. Експериментальні точки не повинні зливатися одна з одною.
2. Масштаб повинен бути простим.

3. Іноді доводиться будувати графік так, щоб вісі координат виходили з нульових точок, іноді – ні. Більш правильно будувати графік від нижніх меж вимірюваної величини і тільки в деяких випадках, коли необхідно встановити характер залежності між досліджуваними величинами, рекомендується будувати графік від початку координат.

Поділки на графіку слід позначати числами 1, 2, 3... або 10, 20, 30... Не слід поділки позначати числами 10000, 20000, 30000... або 0,0001; 0,0002... В таких випадках їх краще записати в такому вигляді: $1 \cdot 10^4$, $2 \cdot 10^4$... або $1 \cdot 10^{-3}$, $2 \cdot 10^{-3}$. Десятковий множник зручніше віднести до одиниці вимірювання.

Наприклад, одні і ті ж значення тиску можна зобразити по-різному (рис.4.4 а і 4.4 б). Так, на рис.4.4 б позначці 1 відповідає тиск $P \cdot 10^{-2}$.

$1 = P \cdot 10^{-2}$. Тоді значення тиску $P = 1/10^{-2} = 100$ Па.

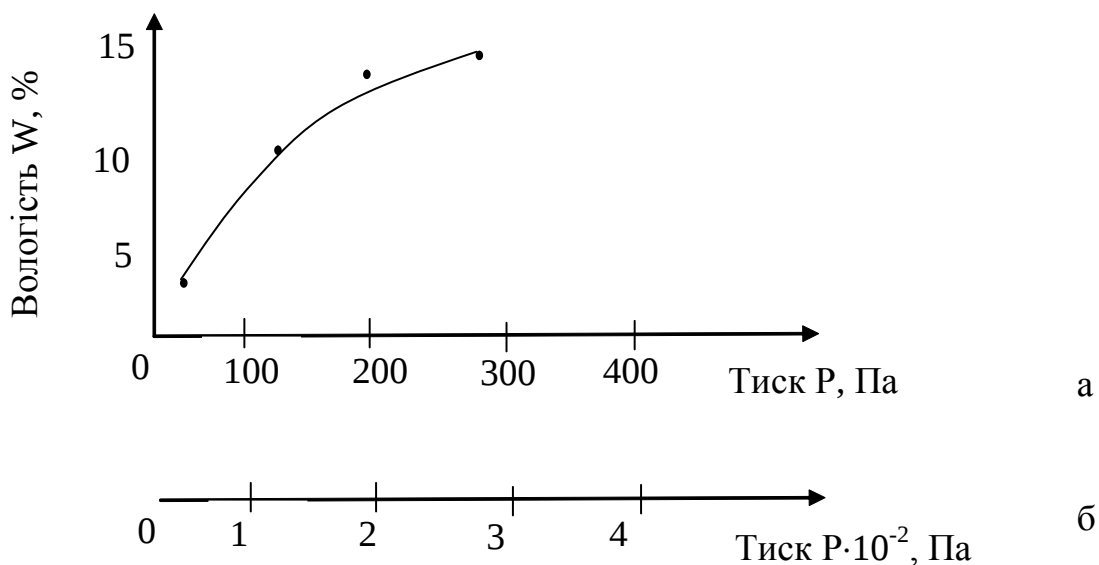


Рис.4.4. Позначення поділок на графіку

Один із загальних принципів, якого необхідно дотримуватися при побудові графіків, полягає в тому, що мінімальний поділ шкали повинен відповідати приблизно імовірній помилці величини, що вимірюється. Якщо ж імовірна помилка дорівнює, наприклад, десяти малим поділкам, то може бути настільки великий розкид даних, що не вдасться помітити основний характер кривої або встановити закономірність її зміни. З іншого боку, коли імовірна помилка дорівнює одній десятій найменшої поділки, всі випадкові відхилення згладяться, і буде неможливо отримати який-небудь показник точності.

На осях координат слід вказувати назву або символ величини, або і те, й інше (рис.4.5).

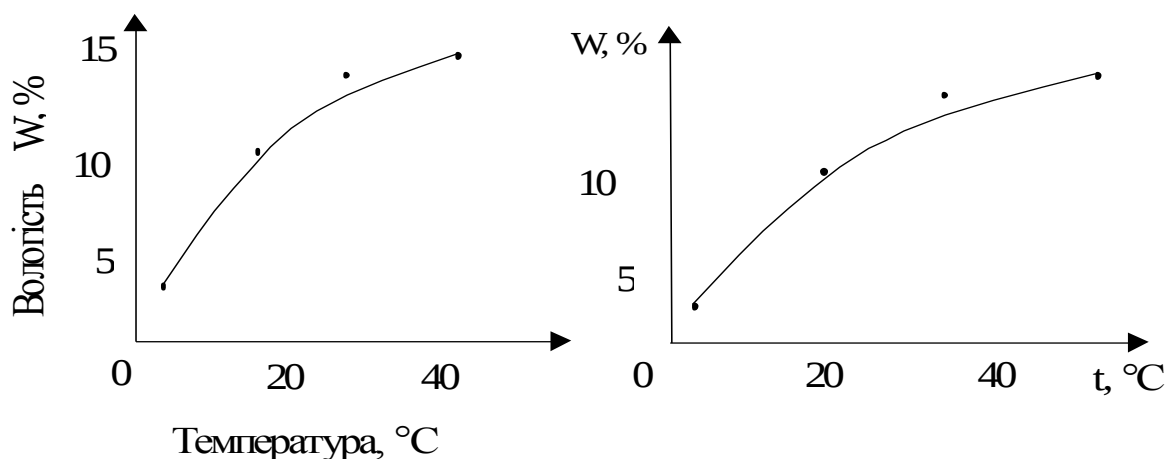


Рис.4.5. Підписи координатних осей

Приклади побудови графіків

Графіки будують в основному для наочного представлення результатів експерименту, тому вони повинні бути якомога більш зрозумілими. При побудові графіків треба враховувати таке:

1. Якщо на графіку для порівняння з експериментальними даними наносять теоретичну криву (рис.4.6), то треба залишати всі експериментальні точки – як ті, через які крива проходить, так і ті, де існує розбіжність.

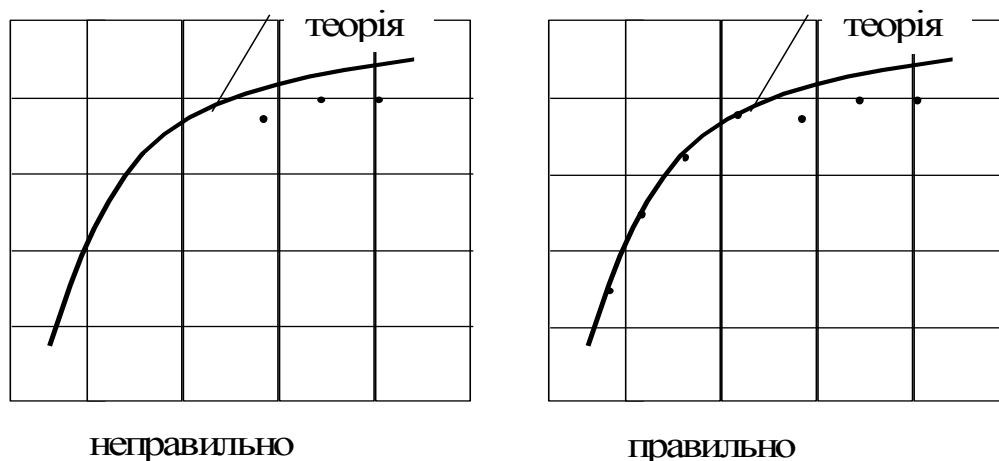


Рис.4.6. Порівняння експериментальних і теоретичних результатів на графіку

2. Через експериментальні точки треба проводити плавну лінію, щоб вона по можливості проходила по точкам і приблизно однакова кількість точок знаходилася по обох її боках, а не з'єднувати їх ламаною лінією (рис.4.7).

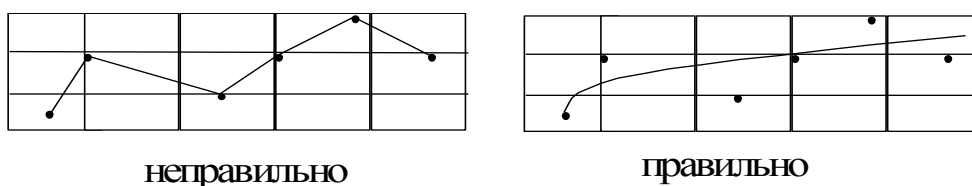


Рис.4.7. Графічна обробка результатів експериментів

Зазвичай функції мають плавний характер, і малоімовірно, щоб співвідношення між двома величинами носило стрибкоподібний характер. Різке викривлення графіку пояснюється похибками експерименту, які можуть бути усунені застосуванням засобів вимірювання більшої точності і повторенням експерименту. Для побудови графіку плавної залежності не слід брати дуже багато точок і тільки для кривих з екстремумами необхідно в області екстремуму наносити точки частіше. Якщо на побудованому графіку одна або кілька точок лежать далеко від кривої, то це свідчить про грубу помилку при обчисленнях або вимірюванні. В такому випадку насамперед треба перевірити розрахунки і, якщо вони правильні, повторити вимірювання

в діапазоні різкого відхилення точок. Повторне вимірювання може показати помилковість або правильність попереднього вимірювання. В першому випадку на графік наносять нову точку, а в другому випадку ретельно аналізують сутність явища.

3. Щоб розрізняти експериментальні дані, які відносяться до різних умов або речовин, можна користуватися різними позначками і нумерувати криві (рис.4.8). Однак якщо кривих дуже багато і для побудови кожної з них брали різні позначки, то графік може виглядати занадто загроможденим. Тоді для кожної групи даних краще будувати окремий графік.

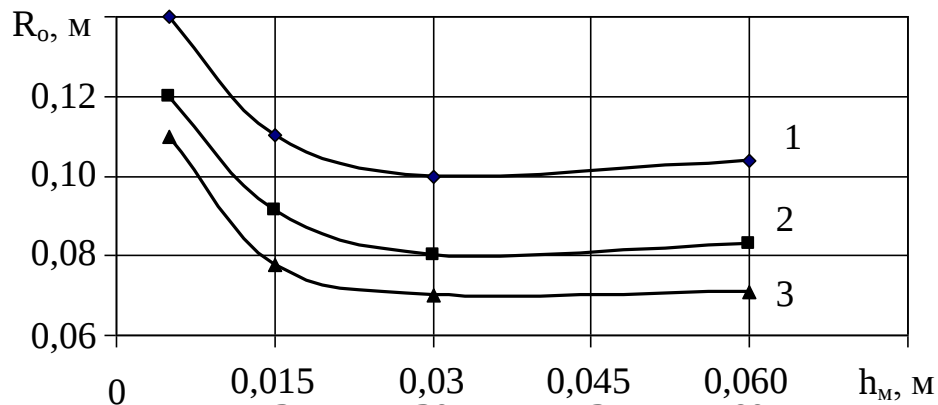


Рис. 4.8. Залежність радіуса шару осаду від рівня встановлення мішалки в апараті для конкретних видів днища апарата:
1 – плоске дно; 2 – з кутом нахилу 18°; 3 – з кутом нахилу 24°.

4. Іноді буває доцільно показати залежність вимірювання одночасно двох або більше показників від якогось одного, тобто необхідно на одному графіку зобразити функції виду $y_1=f(x)$, $y_2=f(x)$, $y_3=f(x)$ і т.д. В такому випадку на графіку паралельно наносять дві і більше осей координат, кожна з яких позначає зміну різних величин і має свою ціну поділок. Подвійними, потрійними і т.д. можуть бути на графіку як абсциса, так і ордината

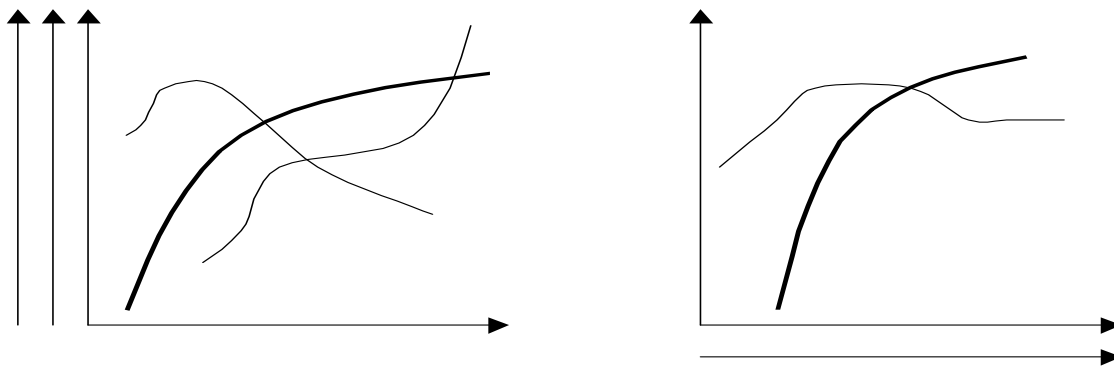


Рис. 4.9. Приклад графіку з двома та більше осями координат

Нанесення похибок на графік

Похибку отриманого при експерименті результату можна вказати, попередньо розрахувавши стандартні відхилення (рис.4.10), або використати планку похибок (в Excel: виділити графік → вкладка в панелі інструментів Макет → блок «Аналіз» → планки похибок (одразу вибрати опцію додаткові параметри) → величина похибки → користувача → для додатної і для від'ємної похибки вказати рядок стандартних відхилень.

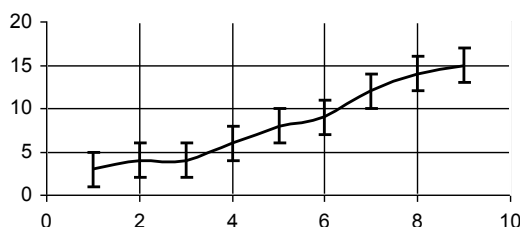
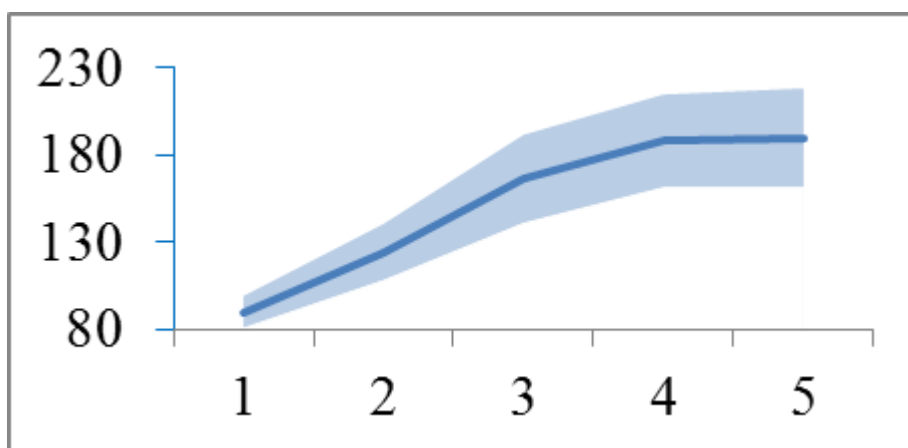


Рис.4.10. Нанесення похибок на графік

Оскільки в більшості випадків похибки значень функції більші за похибки аргументу, найчастіше наносять тільки похибки функцій. Похибку наносять у вигляді відрізка, довжина якого дорівнює подвоєній похибці в даному масштабі. Експериментальна точка знаходиться посередині цього відрізка, а він з обох боків обмежується рисочками, які вказують границю похибки. Крива повинна лежати в межах похибок вимірювань. Оскільки нанесення таких позначок ускладнює графік, і крім того, це досить складно, то його роблять у випадках, коли необхідна інформація про помилки. Їх треба вказувати, якщо є відхилення експериментальних значень від теоретичної кривої або якщо відхилення неоднакові для різних експериментальних значень.

5. У деяких випадках будують номограми (рис. 4.11), які істотно полегшують використання для систематичних розрахунків складних теоретичних та емпіричних формул у відповідних межах зміни величин.

Номограма (від грец. *nomos* – закон та *gramma* – риска, буква, писемний знак, зображення) – креслення, яке є зображенням функціональних залежностей, які використовуються для одержання (без розрахунків) приблизних розв'язань рівнянь.

Слід зазначити, що зазначена вище послідовність етапів проведення наукових досліджень певною мірою умовна, тому що в процесі дослідження часто виникає зворотній зв'язок між етапами процесу. Так, при виконанні теоретичних досліджень при необхідності повертаються до початкових даних, проводять пробні (орієнтовні) експерименти, результати яких можуть коригувати план експерименту та призводити до зміни методології досліджень.

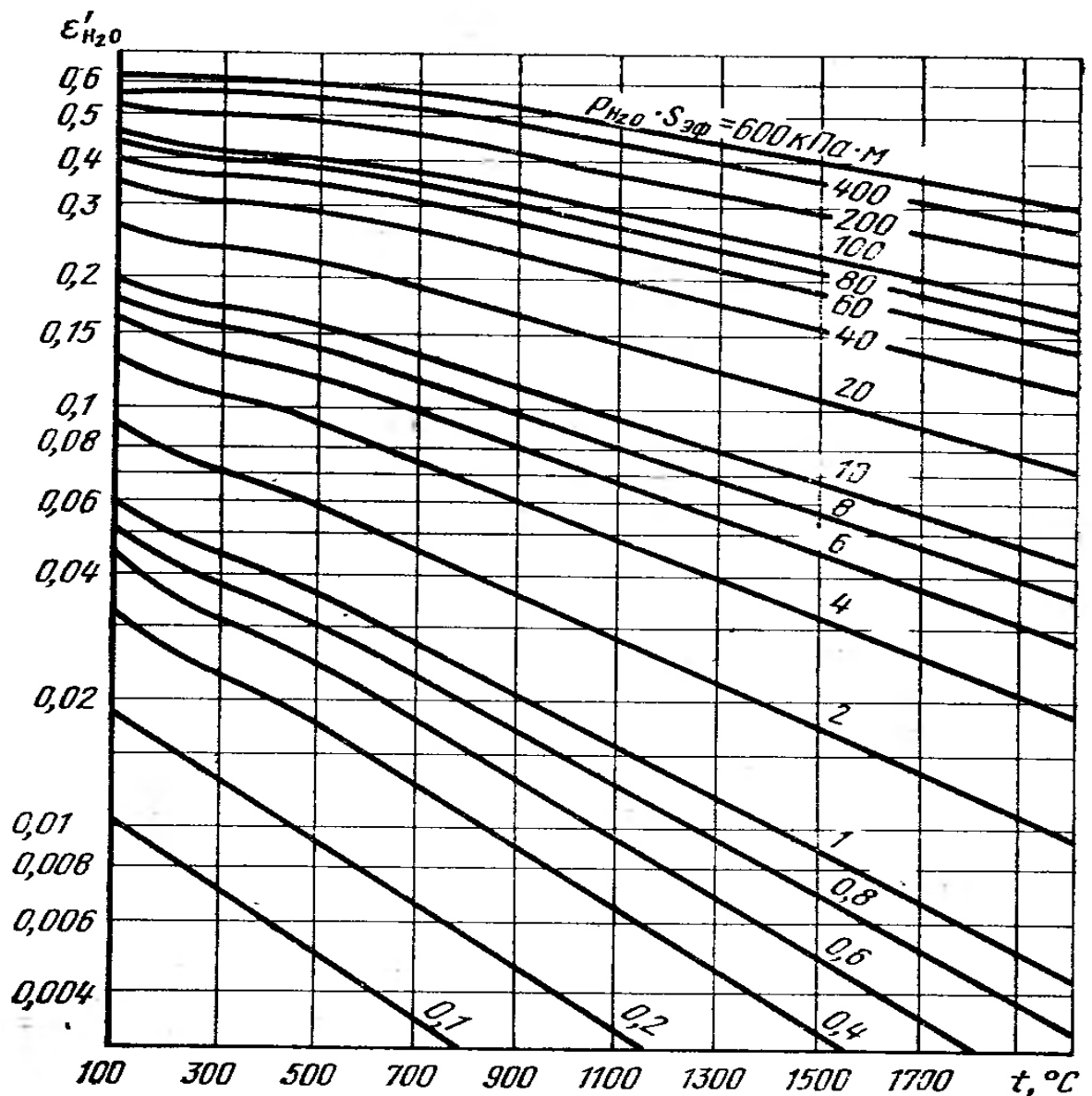


Рис.4.11. Номограма

4.9. Узагальнення результатів дослідження та їх апробація

До питання узагальнення, формулювання висновків треба ставитися як до формування своєрідної системи концентрованого викладення отриманого наукового знання. Схема подання висновків може бути такою. Спочатку перелічуються результати, представлені в даному дослідженні, - цим окреслюється розглянутий предмет наукового дослідження. Потім один або кілька пунктів можуть більш глибоко розкривати нове наукове знання, давати уточнення, що визначає його унікальність і відмінність від відомих положень. Нарешті, у висновках може підтверджуватися вірогідність й обґрунтованість наукових положень, корисність їхнього практичного використання. Між

пунктами висновків повинні проглядатися зв'язок, послідовність, ієрархія за ступенем важливості.

Отже, автор повинен у наукових висновках зробити наукове узагальнення досліджень, показати унікальність власних пошуків і представити науковій спільноті нове наукове знання, отримане в ході виконання дослідження.

Наукова новизна – головна вимога до наукових результатів. Це означає, що науковий результат повинен містити нове вирішення наукового завдання, що має істотне значення для відповідної галузі знань, або нові науково обґрунтовані розробки, що забезпечують вирішення важливих прикладних завдань економіки або обороноздатності.

Виявити й визначити наукову новизну дозволяють такі положення:

- докладне вивчення літератури за предметом дослідження з аналізом його історичного розвитку;
- розгляд існуючих точок зору, критичний аналіз і співставлення яких у світлі завдань дослідження часто приводять до нових або компромісних рішень;
- отримання нового фактичного матеріалу у результаті проведення експерименту;
- деталізація відомого процесу, явища - докладний аналіз практично будь-якого цікавого в науковому відношенні об'єкта приводить до появи нових корисних результатів, висновків, узагальнень.

Елементи новизни, які можуть бути представлені в результатах дослідження:

- новий об'єкт дослідження, тобто завдання, поставлене в дослідженні, розглядається вперше;
- нова постановка відомих проблем або завдань (наприклад, зняті допущення, прийняті нові умови);
- новий метод вирішення;
- нове застосування відомого рішення або методу;
- нові наслідки з відомої теорії в нових умовах;

- нові результати експерименту, їхні наслідки;
- нові або вдосконалені критерії, показники та їх обґрунтування;
- розроблення оригінальних математичних моделей процесів і явищ;
- розроблення пристроїв і способів на рівні винаходів і корисних моделей

[2].

Апробація результатів дослідження здійснюється шляхом участі в науково-практичних конференціях і симпозіумах з публікацією тез доповідей або більш повних матеріалів; використанні наукових розроблень у навчальному процесі закладів освіти; участі в розробленні державних і регіональних програм розвитку тієї чи іншої галузі народного господарства; використанні результатів дослідження для підготовки нових нормативних і методичних документів. Результати досліджень також можуть бути впроваджені у виробничий процес.

4.10. Оформлення наукової роботи за результатами дослідження, її представлення та захист

Усі матеріали, отримані в процесі дослідження, розробляють, систематизують і оформляють у вигляді наукової праці. Це документ, що містить вичерпуючі систематизовані відомості про виконану роботу.

Загальні вимоги до науково-дослідної роботи:

- чіткість і логічна послідовність викладення матеріалу;
- переконливість аргументації;
- стислість і точність формулювань, що виключають можливість неоднозначного тлумачення;
- конкретність викладення результатів роботи;
- обґрунтованість рекомендацій і пропозицій [2].

Наукова робота, яка виконується студентом протягом навчання, як правило, є складовою частиною дипломного проектування.

Дипломні проекти (роботи) виконуються на завершальному етапі навчання студентів і передбачають: систематизацію, закріплення, розширення

теоретичних і практичних знань зі спеціальності та застосування їх при вирішенні конкретних наукових, технічних, економічних виробничих й інших завдань; розвиток навичок самостійної роботи й оволодіння методикою дослідження та експерименту, пов'язаних з темою проекту (роботи). Виконуючи цю роботу, випускник демонструє рівень оволодіння необхідними теоретичними знаннями й практичними навичками, що дозволяють йому самостійно вирішувати професійні завдання.

При виборі теми дипломної роботи потрібно враховувати:

- актуальність теми дослідження;
- практичну значущість;
- можливість використання в дипломній роботі конкретного фактичного матеріалу, зібраного в період проходження виробничої практики.

Виконання дипломної роботи проходить такі етапи:

- вибір теми;
- вивчення літератури;
- ознайомлення з виробництвом;
- складання плану;
- визначення методів дослідження;
- виконання розрахунків і безпосереднє проведення досліджень;
- робота над текстом і оформлення.

Далі йде підготовка до захисту й захист роботи. Дипломна робота за своєю структурою складається з таких елементів:

- титульного аркуша;
- змісту;
- вступу;
- основної частини;
- висновків;
- списку використаної літератури;
- додатків (якщо вони необхідні).

Готова дипломна робота підписується виконавцем і здається керівнику в строк, встановлений завданням або планом-графіком. Після її прочитання керівник готує на неї письмовий відгук. У відгуку відбиваються позитивні й негативні сторони дипломної роботи за такою схемою:

- актуальність;
- новизна;
- теоретична й практична значущість проведеного дослідження;
- повнота висвітлення питань теми, використання літератури й практичного матеріалу;
- ступінь самостійності автора в розкритті теми;
- обґрунтованість висновків, логічність аргументації;
- наявність пропозицій і рекомендацій, можливість їх впровадження у навчальний процес;
- відповідність оформлення роботи встановленим правилам;
- неточності, помилки, спірні моменти, зауваження щодо змісту й оформлення.

Дипломна робота з письмовим відгуком керівника не менш ніж за 10 днів до захисту передається рецензенту для рецензування.

Як рецензенти залучаються, як правило, науковці, що працюють у відповідній галузі, висококваліфіковані практичні працівники, що мають вищу освіту.

Рецензія (відгук про наукову працю) – це робота, у якій критично оцінюють основні положення й результати рецензованого дослідження. Особливу увагу звертають на актуальність його теоретичних положень, доцільність і оригінальність прийнятих методів дослідження, новизну й вірогідність отриманих результатів, їхню практичну користь.

При складанні рецензії дотримуються такої послідовності:

- обґрунтування необхідності (актуальності) теми дослідження;
- оцінка ідейного й наукового змісту (основна частина рецензії), мови, стилю;

- послідовність викладення результатів дослідження;
- оцінка ілюстративного матеріалу, обсягу досліджень і рукопису тексту;
- загальні висновки; підсумкова оцінка дослідження.

Критика рецензента повинна бути принциповою, науково обґрунтованою, вимогливою, але разом з тим і доброзичливою, сприятливою для поліпшення дослідження.

Дипломна робота захищається студентом перед Екзаменаційною комісією на відкритому засіданні. Для викладення основних результатів дослідження автору надається 10 – 15 хвилин. У виступі доповідач (дипломник) не повинен озвучувати чужі загальновідомі факти, положення, визначення, а коротко викласти розуміння досліджуваної проблеми, приділивши більше уваги результатам власного дослідження.

У виступі доповідач (дипломник) не повинен озвучувати чужі загальновідомі факти, положення, визначення, а коротко викласти розуміння досліджуваної проблеми, приділивши більше уваги результатам власного дослідження.

У доповіді рекомендується відобразити:

- обґрунтування актуальності теми;
- характеристику об'єкта дослідження;
- основний зміст за розділами;
- обґрунтування запропонованих заходів;
- висновки і пропозиції.

Зміст доповіді повинен бути ілюстрованим. Ілюстративний матеріал повинен підтверджувати теоретичні й практичні висновки, представляти найбільш важливі цифри, оформлені в табличній, графічній або текстовій формах.

По закінченні доповіді члени комісії й присутні можуть задавати дипломнику питання з теми дипломної роботи. Відповіді повинні бути суттєвими, короткими й аргументованими.

Потім зачитуються відгуки керівника й рецензента (зауваження й основні висновки з них), надається слово керівнику та рецензенту, які повідомляють свою думку про дипломну роботу.

Рішення комісії щодо оцінювання дипломних робіт і підсумки захистів приймаються на закритому засіданні простою більшістю голосів членів комісії.

Контрольні запитання

- 1. В чому відмінність між лабораторними і виробничими експериментами?*
- 2. Який з етапів наукових досліджень, на Вашу думку найскладніший і чому?*
- 3. Назвіть вимоги, яким повинна відповідати тема наукового дослідження?*
- 4. Як оцінити перспективність теми дослідження?*
- 5. Наведіть приклади можливих об'єкта і предмета дослідження*
- 6. Як краще опрацьовувати наукову літературу, знайомлячись зі станом розроблення питання?*
- 7. Як вибір обмежень і припущень перед початком дослідження впливає на його результат?*
- 8. Що впливає на вибір методики дослідження?*
- 9. Які основні принципи застосовуються для вимірювання температури в промислових умовах?*
- 10. Як класифікують прилади для вимірювання тиску, перепаду тиску і розрідження?*
- 11. Як називаються прилади для вимірювання витрати рідин? Як вони класифікуються?*
- 12. З допомогою яких приладів можна виміряти механічні величини?*
- 13. Суть методу рандомізації при визначенні послідовності дослідів*

14. *Мета проведення пробних дослідів*
15. *Чому цифри 0, розміщені наприкінці числа, є значущими?*
16. *Як виконувати математичні операції з величинами, які виміряні з різною точністю?*
17. *Переваги графічного представлення результатів досліджень*
18. *З якою метою використовують нерівномірні координатні сітки?*
19. *Правила вибору масштабу для побудови графічних залежностей*
20. *Що таке апробація результатів досліджень?*

5. ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ

5.1. Невизначеність вимірювання

Всі експериментатори намагаються контролювати свій експеримент або виключити вплив зовнішніх змінних. Всіх їх цікавить точність вимірювальних приладів і точність даних, які отримують.

Термін “змінна” використовується в найширшому смислі і означає будь-яку варійовану фізичну величину. Якщо варіювання змінної відбувається незалежно від інших величин, то маємо *незалежну змінну*. Якщо ж фізична величина змінюється при зміні однієї або більшої кількості незалежних змінних, то вона називається *залежною*. Якщо деяка фізична величина, яка впливає на результати експерименту, змінюється випадковим чином і її не можна контролювати, то вона називається *зовнішньою змінною*. Наприклад, вхідна напруга і вихідне навантаження електродвигуна можуть змінюватися незалежно одна від одної по бажанню дослідника. Коефіцієнт корисної дії, температура обмотки і вхідний струм можуть бути прикладами залежних змінних, а навколишня температура і коливання частоти струму в лінії є зовнішніми змінними.

Зазвичай незалежні змінні можуть встановлюватися на вибраних рівнях у відповідності з прийнятим планом експерименту.

У *контрольованому* експерименті вплив зовнішніх змінних виключений і незалежні змінні можна змінювати точно по бажанню дослідника. Проведення контрольованого експерименту або ізоляція його від навколишніх умов є одним з основних принципів наукового дослідження.

Основною складовою частиною будь-якого експерименту є вимірювання.

Вимірювання – це операція, за допомогою якої визначається відношення однієї величини (яка вимірюється) до іншої однорідної величини (яка приймається за одиницю). Число, яке виражає таке відношення, називається

чисельним значенням вимірюваної величини. Теорією і практикою вимірювань займається наука метрологія.

Вимірювання поділяються на прямі та непрямі. При *прямих* вимірюваннях шукану величину встановлюють безпосередньо з досліду, при *непрямих* – функціонально від інших величин, визначених прямими вимірюваннями: $b=f(a)$, де b , a – величини, знайдені за допомогою відповідно непрямих і прямих вимірювань.

Жодне вимірювання не може бути здійснено абсолютно точно. Отриманий результат завжди має певну похибку. Оцінка точності вимірювань є складовою частиною будь-якого експерименту.

Розрізняють три *класи вимірювань*:

1. Особливо точні – еталонні вимірювання з максимально можливою точністю.
2. Високоточні – вимірювання, похибка яких не повинна перевищувати заданих значень. Цей клас вимірювань застосовують для деяких найбільш відповідальних дослідів, а також для контрольно-перевіркових вимірювань приладів.
3. Технічні вимірювання.

Похибка вимірювання – оцінка відхилення виміряного значення величини від її дійсного значення. Похибка вимірювання є характеристикою точності вимірювання. Оскільки з'ясувати з абсолютною точністю дійсне значення будь-якої величини неможливо, то неможливо і вказати величину відхилення дійсного значення від виміряного. Можливо лише оцінити цю величину, наприклад, за допомогою статистичних методів. При цьому за дійсне значення приймається середньостатистичне значення, отримане при статистичній обробці результатів серії вимірювань. Це отримане значення не є істинним, а лише найбільш імовірним. Тому в результатах вимірювань необхідно вказувати, яка їхня точність. Для цього разом з отриманим результатом вказується похибка вимірювань.

Наприклад: $t=2,8\pm0,1$ с означає, що істинне значення часу t знаходиться в інтервалі від 2,7 до 2,9 с з деякою імовірністю, близькою до 1.

У 1993 році на міжнародному рівні був прийнятий документ, що регламентує оцінювання точності вимірювання через параметр, який отримав назву *невизначеність вимірювання*. В ньому визнається, що англійське поняття *error*, яке українською прийнято перекладати «похибка» та «помилка», через свою неоднозначність не зовсім точне, тому замість нього було введено поняття *uncertainty* (невизначеність) вимірювань.

В залежності від обраної класифікаційної ознаки існують різні класифікації похибок вимірювання, серед яких можна виділити найпоширеніші [29]:

- за формою вираження (абсолютні та відносні);
- за джерелами виникнення (інструментальні, методичні та особисті);
- за закономірностями виникнення та прояву (систематичні та випадкові).

Абсолютна похибка вимірювання – абсолютна різниця між результатом вимірювання та умовно істинним значенням вимірюваної величини. Розмірність абсолютної похибки є такою ж, як і у вимірюваної величини.

Нехай $x_{\text{дійсне}}$ – дійсне значення вимірюваної величини, x – її наближення. Тоді абсолютна похибка вимірювання $\varepsilon = |x_{\text{дійсне}} - x|$.

На практиці абсолютне значення вимірюваної величини невідоме, тоді використовують наближені формули визначення абсолютної похибки:

$$\varepsilon = |\bar{x} - x|,$$

де $\bar{x}$ – математичне очікування вимірюваної величини або середнє значення.

Якщо вимірювана випадкова величина має нормальний закон розподілу (посилання див. далі), то зазвичай за абсолютну похибку приймають її середньоквадратичне відхилення.

Абсолютна похибка засобу вимірювання – абсолютне значення різниці між показанням засобу вимірювань та істинним значенням вимірюваної величини за відсутності методичних похибок і похибок від взаємодії засобу

вимірювань з об'єктом вимірювання. Зазвичай позначається на засобі вимірювання або визначається дослідником як значення половини поділки шкали приладу.

Різниця між абсолютною похибкою засобу вимірювання та абсолютною похибкою вимірювання називається *промах* [30] і дає уявлення, наприклад, про прийнятність методики вимірювання: якщо абсолютна похибка лінійки дорівнює півміліметра, а абсолютна похибка вимірювання дорівнює 2 мм, можна зробити висновок про неприйнятність методу вимірювання.

Відносна похибка – відношення абсолютної похибки до того значення, яке приймається за дійсне. Ця величина може бути або безрозмірною, або виражатися у відсотках:

$$B = \frac{\varepsilon}{X_{\text{дійсне}}} 100\%$$

Приведена похибка – відносна похибка, виражена відношенням абсолютної похибки засобу вимірювань до умовно прийнятого значення величини, яке є постійним у всьому діапазоні вимірювань або в частині діапазону:

$$\delta_x = \frac{\varepsilon}{X_n},$$

де X_n – нормуюче значення, яке залежить від типу шкали вимірювального приладу і визначається по його градуюванню:

- якщо шкала приладу одnobічна, тобто нижня межа вимірювань дорівнює нулю, то X_n дорівнює верхній межі вимірювань;
- якщо шкала приладу двобічна, то нормуюче значення дорівнює ширині діапазону вимірювань приладу.

Приведена похибка може бути або безрозмірною, або виражатися у відсотках.

В техніці застосовують прилади для вимірювання лише з визначеною заздалегідь заданою точністю – основною похибкою, допустимою у нормальних умовах експлуатації для даного приладу. Якщо прилад працює в умовах, які відрізняються від нормальних, то виникає додаткова похибка, яка збільшує загальну похибку приладу. До додаткових похибок відносяться: температурна, викликана відхиленням температури навколишнього середовища від нормальної; установочна, обумовлена відхиленням положення приладу від нормального робочого положення тощо. За нормальну температуру навколишнього повітря приймають $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, за нормальний атмосферний тиск $101,325\text{ кПа}$.

5.2. Клас точності приладів

Узагальненою характеристикою засобів вимірювань є клас точності, який характеризує допустимі по стандарту межі основних і додаткових похибок та інших параметрів, що впливають на точність вимірювання [\[31\]](#).

Позначення класу точності можуть мати вигляд великих букв латинського алфавіту, римських цифр і арабських цифр з додаванням умовних знаків. Якщо клас точності позначається латинськими буквами, то він визначається межами абсолютної похибки (табл. 5.1). Якщо клас точності позначається арабськими цифрами без умовних знаків, то клас точності визначається межами приведеної похибки і в якості нормуючого значення використовується найбільша по модулю з меж вимірювань. Так, для вольтметра, який працює в діапазоні вимірювань $0 - 30\text{ В}$, клас точності 1,0 означає, що зазначена похибка при положенні стрілки в будь-якому місці шкали не перевищує $0,3\text{ В}$. Відповідно, середнє квадратичне відхилення S ([посилання на підпункт 5.5.1](#)) становить $0,1\text{ В}$.

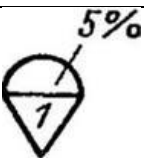
Відносна похибка результату, отриманого з допомогою зазначеного вольтметра, залежить від значення напруги, яка вимірюється, стаючи неприпустимо великою для малих значень напруги. При вимірюванні напруги

0,5 В похибка складе 20%. Як наслідок, такий прилад непридатний для дослідження процесів, в яких напруга змінюється на 0,1 – 0,5 В.

Якщо клас точності позначається арабськими цифрами з галочкою, то він визначається межами приведеної похибки, але в якості нормуючого значення використовується довжина шкали. Якщо клас точності позначається римськими цифрами, то клас точності визначається межами відносної похибки.

Таблиця 5.1.

Позначення класу точності на приладі

Позначення класу (наприклад, L) вказує значення абсолютної похибки і виражено в одиницях вимірюваної величини	L
Позначення класу (наприклад, 1,5) вказує значення основної похибки відносно кінцевого значення діапазону вимірювань	1,5
Позначення класу (наприклад, 1,5) вказує значення основної похибки у відсотках від довжини шкали	
Позначення класу (наприклад, 1,5) вказує значення основної похибки у відсотках від дійсного значення	
Позначення класу (наприклад, 1) вимірювального приладу з нелінійною шкалою і довжиною шкали в якості нормуючого значення. Однак похибка (відносно дійсного значення) всередині діапазону вимірювань не повинна перевищувати значення, вказане у верхній частині символу (наприклад, межа похибки 5%)	

Зазвичай ціна найменшої поділки шкали стрілочного приладу узгоджена з похибкою самого приладу. Якщо клас точності приладу, який використовується, невідомий, за похибку приладу завжди приймають половину ціни її найменшої поділки. Зрозуміло, що при зчитуванні показань зі шкали недоцільно намагатися визначити долі поділки, оскільки результат вимірювання від цього не стане більш точним.

Клас точності засобів вимірювань характеризує властивості їх точності, але не є безпосереднім показником точності вимірювань, які виконуються з допомогою цих засобів, оскільки точність залежить також від методу вимірювань і умов їх виконання. Вимірювальним приладам, межі допустимої основної похибки яких задані у вигляді приведених основних (відносних) похибок, присвоюють класи точності, які вибирають з ряду наступних чисел: $(1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0) \cdot 10^n$, де показник степеня $n = 1; 0; -1; -2$ і т. д.

Існують й інші позначення класів точності на приладах (табл.5.2).

Таблиця 5.2

Позначення класів точності приладів неавтоматичних зважувальних [32]

Клас точності	Позначення
Спеціальний	I
	II
	III
	III
Високий	I
	II
	III
	III
Середній	I
	II
	III
	III

Звичайний	I II III III
-----------	--

Перед тим, як спланувати експеримент і придбати обладнання, слід проаналізувати похибки. Якщо технічні обмеження призводять до надто великої невизначеності або фінансові труднощі не дозволяють придбати прилади потрібної точності, то проведення експерименту неможливе і його слід відкласти до більш сприятливої ситуації.

5.3. Систематичні та випадкові похибки

При вимірюванні фізичних величин існують **три основних джерела** похибок:

1. Основний чутливий елемент неправильно відображує вимірювану величину. *Приклад:* якщо спай термопари зазнав корозії або неякісний, то температура спаю буде відрізнятися від температури навколишнього середовища.

2. Нездатність індикатора або будь-якої проміжної частини приладу правильно відображувати реакцію чутливого елемента. *Приклад:* потенціометр при підключенні термопари може давати неправильне показання напруги через неправильну стандартизацію, калібрування або через неправильне функціонування його механічних або електричних елементів.

3. Нездатність спостерігача правильно реєструвати показання приладу. *Приклад:* оператор може помилитися при зніманні показів.

При проведенні експерименту ці три джерела призводять до двох основних класів похибок, які відрізняються за закономірностями виникнення та прояву – систематичних та випадкових. Сумарна похибка будь-якого вимірювання складається з похибок цих двох класів, але в різному

співвідношенні. Відносна вага кожної з цих похибок залежить від приладу, який використовується, та умов проведення експерименту.

Систематичною називають похибку, яка залишається постійною чи закономірно змінюється при повторних визначеннях однієї й тієї ж величини.

В якості прикладів систематичних похибок можна навести зважування на вагах з допомогою неточних гир, вимірювання сили струму неправильно відградуйованим амперметром.

Систематична похибка спостерігається в тих випадках, коли середнє значення послідовних відліків відхиляється від відомого точного значення і продовжує відхилятися незалежно від кількості проведених експериментів.

Приклад: тахометр дає показання: 950, 952, 948, 951 та 950 об/хв при дійсній швидкості обертання 1000 об/хв. (рис.5.1 а).

При вимірюваннях треба зробити все можливе, щоб виключити систематичні похибки, які викривлюють результати дослідів. Часто такі похибки характеризуються постійністю знаку, тобто тільки збільшують або тільки зменшують результати. Якщо систематичні похибки зумовлені відомими причинами, то їх можна визначити (наприклад, похибку, викликану температурним розширенням об'єкту, що вимірюється, та вимірювального приладу). Такі похибки усуваються введенням *поправок*.

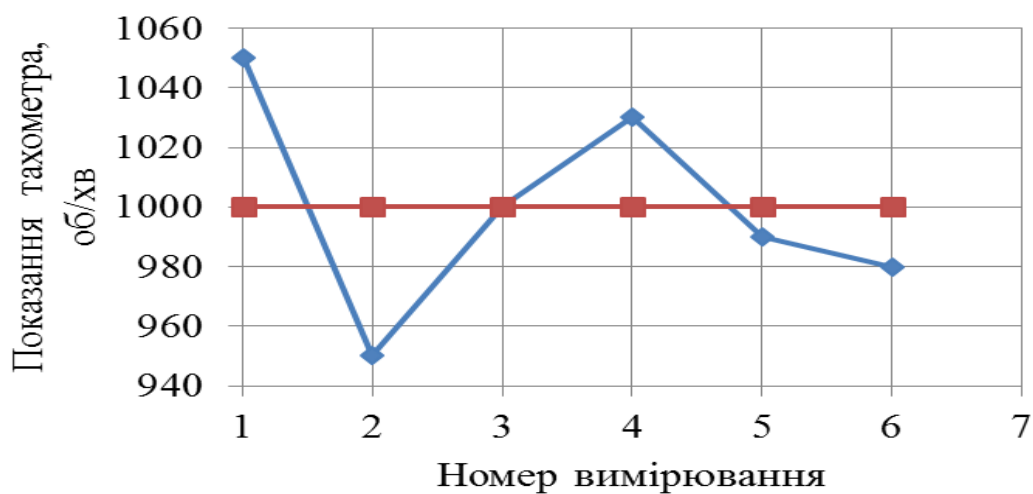
Випадкова похибка має місце, коли при послідовних вимірюваннях постійної величини отримують різні чисельні значення. Вона змінюється випадковим чином при повторних вимірюваннях однієї й тієї ж величини.

Приклад: тахометр вимірює частоту обертання двигуна; при послідовних вимірюваннях отримані такі значення: 1050, 950, 1000, 1030, 990 і 980 об/хв (рис.5.1а). Знаючи, що частота обертання двигуна абсолютно стабілізована, робимо висновок, що тахометр дає данні, які не є абсолютно точними.

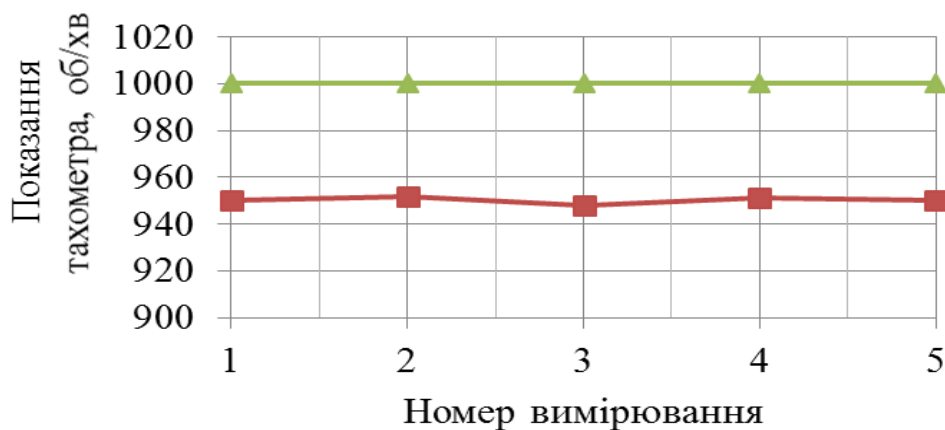
Випадкова похибка може бути додатною і від'ємною. Такі похибки викликаються як об'єктивними, так і суб'єктивними причинами, наприклад, недосконалістю приладів, їх освітленням і розташуванням, зміною

температури в процесі вимірювання, напруги у електричній мережі, забрудненням реактивів.

Якщо випадкова похибка більша за величину похибки приладу, необхідно багаторазово повторити одне й те ж вимірювання. Це дозволяє зробити випадкову похибку співрозмірною з похибкою, яка вноситься приладом. Якщо ж вона менша за похибку приладу, то зменшувати її немає сенсу. Оскільки причини, які призводять до випадкових похибок, неоднакові в кожному експерименті і не можуть бути враховані, виключити такі похибки не можна, можна лише оцінити їх значення.



а



б

Рис.5.1. Результати вимірювання частоти обертання:

а – характеризуються випадковими відхиленнями відносно дійсного значення; б – мають систематичну похибку.

Зазвичай при вимірюванні експериментатор робить один відлік. Якщо тахометр працює, як показано на рис.5.1 а, то імовірність того, що одиничний відлік буде точним, дуже мала. Тому треба робити вибірки або групи відліків із декількох значень, щоб визначити, чи дійсно показання приладу мають розкид відносно дійсного значення, або ж він має систематичну похибку. Тахометр, показання якого зображені на рис. 5.1 а, треба замінити або відремонтувати, тоді як тахометр, показання якого наведені на рис.5.1 б, бажано відкалібрувати і використовувати.

При багаторазовому визначенні якогось показника можуть спостерігатися результати, які значно відрізняються від інших результатів тієї ж серії. Вони можуть бути наслідком грубої похибки, яка є різновидом випадкових похибок. Вони викликаються неухважністю дослідника, який неправильно зробив відлік або записав одну цифру замість іншої. Такі похибки можуть виникнути і через несправність приладу, а також через раптову зміну умов експерименту. Їх легко помітити. Для виявлення помилок необхідно провести вимірювання в інших умовах або повторити вимірювання через певний час. Для запобігання грубим похибкам треба бути уважним та ретельним у роботі і запису результатів. Груба похибка обов'язково повинна бути усунена з експериментальних даних. Для відкидання помилкових даних існують певні правила.

В процесі планування ми можемо нічого не знати про характер похибок, окрім того, що слід чекати деякого відхилення від точного значення. Одним зі способів зменшення похибки є калібрування, яке являє собою перевірку приладу у всьому діапазоні вимірюваних величин з допомогою відомого *еталону*.

Наявність систематичної похибки і її можливі наслідки завжди можна передбачити. Однак, якщо відомо, що існує випадкова похибка, ніколи не можна встановити її абсолютну величину, провівши одиничний дослід. Для дослідження випадкових помилок, які виникають при проведенні

експерименту, необхідно знати деякі розділи математичної статистики та теорії імовірності.

5.4. Визначення систематичної складової похибки вимірювань. Перевірка та градування приладів

Систематичні похибки залишаються постійними або змінюються за певним законом в ході експерименту при повторних вимірюваннях.

Складовими загальної систематичної похибки приладу можуть бути:

1 – інструментальні похибки, які виникають внаслідок несправності приладів, неточності градуювальної шкали, зношення і старіння вузлів і деталей засобів вимірювання.

2 – похибки, що виникають через неправильне встановлення засобів вимірювання.

3 – похибки, що виникають в результаті дії навколишнього середовища: високих температур повітря, магнітних та електричних полів, атмосферного тиску та вологості повітря, вібрації та коливання від транспорту, що рухається.

4 – суб'єктивні похибки, що виникають через індивідуальні фізіологічні, психофізіологічні, антропологічні властивості людини.

5 – неточності методу вимірювання, що виникають при різних спрощеннях схем або функціональних залежностей, при відсутності теоретичних обґрунтувань методу вимірювання, малій кількості дослідів.

Не всі складові систематичної похибки можуть бути встановлені точно. Для окремих з них (інструментальної, методичної, суб'єктивної) можна розрахувати тільки діапазони їх вимірювання. Наприклад, при визначенні температури, тиску та ін. теплотехнічних параметрів приладами, які серійно випускаються промисловістю, діапазон зміни інструментальної похибки може бути визначений на основі класу точності приладу, який вказується на його шкалі.

При вимірюванні температури з допомогою термопари доводиться розраховувати ряд специфічних похибок. Так, для захисту від механічних

пошкоджень і впливу середовища термоелектроди 1 при вимірюваннях розміщують у спеціальній гільзі 3 з високим коефіцієнтом теплопровідності. Термоелектроди ізолюються один від одного двоканальними порцеляновими ізоляторами 2. В деяких випадках нижній кінець захисної гільзи робиться відкритим, щоб спай термопари безпосередньо контактував з потоком (рис.5.2).

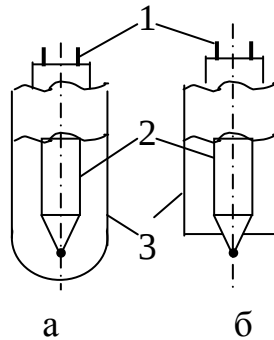


Рис.5.2.
Термоелектричний
термометр із закритим (а)
та відкритим (б) спаями

При вимірюванні температури термоелектричними термометрами наведеної конструкції, виникають специфічні похибки, обумовлені відведенням теплоти по гільзі у огорожувальну конструкцію при вимірюванні температури потоку. Для більшості практичних випадків ця похибка може бути розрахована так:

$$\Delta t = \frac{t_f - t_w}{ch l \sqrt{\alpha / (\lambda_w \delta_w)}},$$

де t_f , t_w – дійсна температура потоку і температура закріпленого кінця термопари, що дорівнює температурі поверхні каналу; l – довжина гільзи в потоці; α – коефіцієнт тепловіддачі між потоком і гільзою; λ_w , δ_w – коефіцієнт теплопровідності і товщина стінки гільзи відповідно.

При вимірюванні температури твердих тіл термопарами виникають похибки, зумовлені порушенням температурного поля в місці встановлення термопари, стоком теплоти від спаю, недостатнім контактом термопари з поверхнею тіла. Похибка, викликана стоком теплоти від спаю, може бути усунена розташуванням проводів термопари на ізотермічній поверхні або введенням спеціальної поправки. При вкладанні термопарних проводів у

кільцеві пази прямокутного перерізу, похибка, зумовлена викривлюючим впливом пазу, може бути визначена по спеціальним графікам. Результируюча систематична похибка визначається як сума окремих похибок.

В залежності від причини, що викликає систематичні похибки, вони можуть бути усунені до початку експерименту, в процесі його виконання або після завершення серії вимірювань.

До початку експерименту інструментальні похибки у багатьох випадках можуть бути виключені регулюванням вимірювальних засобів і усуненням впливу зовнішнього середовища, а ті, що виникають в процесі експерименту – внесенням поправок у результати вимірювань. В окремих випадках для визначення інструментальної похибки вимірювань застосовують спосіб порівняння зі зразком, способи заміщення, компенсації похибки по знаку.

Під *регулюванням приладу* розуміють операції, спрямовані на зниження систематичних похибок до величини, яка менша за допустиму похибку. Вимірювальні прилади мають два регулювальних вузли – для регулювання нуля і чутливості. Регулювання нуля використовують для усунення систематичних похибок в діапазоні нижньої межі вимірювань. В окремих випадках виникають систематичні похибки, які лінійно збільшуються або зменшуються зі зміною вимірюваної величини. Таку похибку можна зменшити за допомогою регулювання вузла чутливості. Оскільки похибка різна на різних ділянках шкали, то з допомогою одночасного регулювання вузла нуля і чутливості досягають суттєвого зниження систематичної похибки приладу.

Визначити систематичні похибки, а також усунути їх у багатьох випадках складно. Потрібна ретельна перевірка методів дослідження, вимірювальних приладів і виконання всіх правил експериментальних робіт.

Найрозповсюдженішим способом перевірки приладів і оцінки їх експлуатаційних характеристик є ***спосіб порівняння зі зразком***: порівнюють дані для досліджуваного об'єкта й еталонного зразка за допомогою одних і тих самих вимірювальних засобів при однакових умовах. Еталон попередньо

атестується з більш високою точністю, ніж засоби, що використовуються в експериментах. *Спосіб заміщення* зводиться до того, що різницю між атестованим зразком і вимірюваним об'єктом намагаються зробити близькою до нуля. Це досягають підбором зразка з відповідними параметрами. Компенсація похибки по знаку передбачає проведення вимірювань таким чином, щоб похибка при вимірюваннях була один раз з одним знаком, а другий – з протилежним.

Перевірка засобів вимірювання передбачає визначення і по можливості зменшення похибок приладів. Виявлення похибок дозволяє встановити, чи відповідає даний прилад регламентованому ступеню точності і чи може він застосовуватися для даних вимірювань. При перевірці засобів вимірювань, якщо не треба вносити поправок, визначають похибки і встановлюють, чи не виходять вони за межі допустимих значень. Перевірку засобів вимірювань проводять на різних рівнях: від спеціальних державних організацій до низових ланок. Державні метрологічні інститути і лабораторії по нагляду за стандартами і вимірювальною технікою здійснюють державний контроль за забезпеченням у країні єдності мір.

На високоточні вимірювальні засоби державні метрологічні організації видають спеціальне свідоцтво, в якому після перевірки вказують номінальні значення вимірюваної величини, клас точності, граничну допустиму похибку, результати перевірки похибки приладу у вигляді таблиці, варіацію вимірювань. Для приладів меншої точності свідоцтво можна не видавати, а замінити лише вказівкою, що прилад задовольняє вимогам стандарту або інструкції. Замість інструкції прилад забезпечують тавром перевірки.

Вимірювальні прилади і установки різних організацій обов'язково мають проходити державну перевірку раз на 1–2 роки. При правильному поводженні із приладами цього строку цілком досить для гарантованої експлуатації. Однак в ряді випадків через недбале поводження з приладами їх експлуатаційно-вимірювальні характеристики порушуються, потрібна перевірка.

В періоди між державною проводять відомчу перевірку засобів вимірювання. Ці перевірки по об'єму робіт іноді мало чим відрізняються від державних перевірок. Однак, як правило, їх проводять за скороченою програмою.

Аналіз експлуатаційних якостей вимірювальних засобів показав, що прилади і установки, які зберігаються більш чи менш тривалий час на складах (1– 2 роки), старіють і погіршують свої властивості. Іноді при цьому похибки перевищують допустимі значення. Тому для засобів вимірювання, які зберігаються на складі, перед використанням потрібно проводити робочу перевірку.

Робоча перевірка засобів вимірювань проводиться в низових ланках, тобто безпосередньо в організаціях, які проводять вимірювання. Такі перевірки проводяться кожним експериментатором перед початком вимірювань і спостережень. В процесі робочої перевірки доводиться виконувати різні операції: визначати діапазон вимірювань, варіації вимірювань та ін. В окремих випадках виконують регулювання і градування засобів вимірювань.

Під *градуванням* розуміють нанесення поділок на шкалу відлікового пристрою по заздалегідь відомій виміряній величині. Якщо шкала рівномірна, то градування не становить жодних складнощів. При градуванні нелінійних шкал попередньо регулюють прилад, кріплять до нього шкалу і наносять на циферблат поділки, що відповідають заздалегідь відомим значенням вимірюваної величини.

5.5. Оцінювання випадкових похибок експерименту

При обмеженій кількості вимірювань середньоарифметичне значення $\bar{y}$ буде відрізнятися від дійсного значення: $y \approx \bar{y}$, і величину цього розузгодження треба оцінити.

В основі теорії випадкових похибок лежить припущення про те, що при великій кількості вимірювань випадкові похибки однакової величини, але

різного знаку, спостерігаються однаково часто; що великі похибки спостерігаються рідше, ніж малі; що при нескінченно великій кількості вимірювань дійсне значення величини, що вимірюється, дорівнює середньоарифметичному значенню всіх результатів вимірювань.

Випадкова величина може бути дискретною або безперервною. Безперервна випадкова величина приймає будь-які значення з інтервалу свого вимірювання, дискретна – тільки визначені значення.

Розрізняють генеральну і вибірку сукупність вимірювань. Під генеральною сукупністю вимірювань розуміють всю множину можливих значень вимірювання y_i або можливих значень похибок Δy_i , зазвичай кількість вимірювань n нескінченна. Для вибіркової сукупності кількість вимірювань n обмежена, і в кожному конкретному випадку суворо визначається.

5.5.1. Теоретичні характеристики випадкової величини

Відносною часткою чи частотою випадкової події A називається відношення кількості m появ даної події до загальної кількості n проведених досліджень і записується так: $P(A) = p = m/n$. Наприклад:

$$n=10 \quad m_1=4 \quad p_1=0,4$$

$$n=10 \quad m_1=2 \quad p_1=0,2$$

Чим більша кількість вимірювань, тим менше відносна частота відрізняється одна від одної. При необмеженому збільшенні кількості випробувань чи дослідів n відносна частота події A сходиться до ймовірності P появи цієї події. Ймовірність випадкової величини – це кількісна оцінка можливості її появи. Достовірна подія має ймовірність $P=1$, неможлива подія – $P=0$. Тобто, для випадкової події $0 \leq P(y) \leq 1$ сума ймовірностей усіх

$$\sum_0^n P_i = 1.$$

можливих значень

Математичним очікуванням дискретної випадкової величини y_k (може позначатися $M[y]$, $m(y)$ або m_y) називається сума добутків усіх значень цієї величини на ймовірність одержання (появи) кожного її значення:

$$M[y] = y_1 p_1 + y_2 p_2 + \dots + y_k p_k + \dots + y_n p_n$$

Для дискретних та безперервних випадкових величин математичне очікування відповідно:

$$M[y] = \sum_{k=1}^n y_k p_k \qquad m_y = \int_{-\infty}^{+\infty} y P(y) dy ,$$

воно дорівнює дійсному значенню y_d подій, що спостерігаються. Таким чином, якщо систематичні похибки вимірювання повністю виключені, то дійсне значення вимірюваної величини дорівнює математичному очікуванню, а відповідна йому абсциса називається центром розподілення.

Дисперсія (може позначатися $D(y)$, σ^2 , S^2 характеризує розсіювання випадкової величини по відношенню до математичного очікування. Для безперервної і дискретної випадкової величини дисперсія відповідно розраховується за формулами:

$$D(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} (y - m(y))^2 P(y) dy ,$$

$$D(y) = \sum_{k=1}^n (y_k - m(y))^2 P_k = \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - m(y))^2}{f} .$$

Різниця між кількістю незалежних результатів у n повторюваностях і кількістю рівнянь, в яких ці результати використані для розрахунку невідомих оцінок (при розрахунку дисперсії окремого вимірювання лише в одному рівнянні – для розрахунку $\bar{y}$), називають **кількістю ступенів вільності** f .

Якщо відоме дійсне значення або $m(y)$, невідомі оцінки не розраховуються, тому кількість ступенів вільності $f=n$.

Міра розсіювання результатів окремих вимірювань y_k від середнього значення $\bar{y}$ повинна виражатися в тих же одиницях, що і значення величини,

яка вимірюється. Тому важливою теоретичною характеристикою теоретичної кривої розподілення є *середньоквадратичне відхилення або стандарт*:

$$\sigma(y) = \sqrt{D(y)}$$

Дисперсія, розрахована для вибірки, позначається S^2 і розраховується по формулі (враховуючи, що $m(y) = \bar{y}$, $f=n-1$):

$$S^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1}$$

Для n незалежних випадкових вимірювань однієї і тієї ж величини дисперсія середньої арифметичної величини в $\sqrt{n}$ разів менше дисперсії окремого вимірювання, тобто $\bar{S}(\bar{y}) = S / \sqrt{n}$. Тому для зменшення випадкової похибки при вимірюваннях шукану величину визначають кілька разів, мінімально допустиме значення кількості експериментів зазвичай становить 4–5.

5.5.2. Побудова емпіричної кривої розподілення

Нехай у результаті n вимірювань випадкової величини отримано варіаційний ряд $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$. Первинна обробка таких рядів зводиться до наступного:

- групують y_i в інтервали і встановлюють для кожного з них частоти P_i ;
- по значенням y_i та P_i будують ступеневу діаграму частот;
- розраховують характеристики емпіричної кривої розподілення.

Основними характеристиками емпіричного розподілення є

середньоарифметичне значення $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k$, дисперсія $D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ та середньоквадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{D}$.

Припустимо, що необхідно виміряти невідому величину, наприклад, довжину жорсткого стержня. Забезпечимо велику групу дослідників лінійками, штангенциркулями, мікрометрами і запропонуємо їм виміряти довжину. Записуючи кожне вимірювання, помічаємо, що між відліками цих людей існують деякі відхилення. Після того, як все більша і більша кількість спостерігачів зафіксують свої результати, отримуємо виборку з деякої генеральної сукупності. Розглянемо невеликі рівні інтервали довжиною Δy і підрахуємо число відліків, які потрапили в цей інтервал (рис.5.3). Побудова гістограми виконується так. Отримані результати розташовуються у вигляді ряду в порядку збільшення або зменшення абсолютної величини і далі групуються по інтервалах. Кількість інтервалів визначається за наближеною формулою

$$k = 1 + 3.2 \lg n$$

з округленням результату до найближчого цілого значення. Ширина інтервалу Δy розраховується так:

$$\Delta y = (y_{\max} - y_{\min}) / k,$$

де $y_{\max}$, $y_{\min}$ – максимальне і мінімальне значення отриманих результатів.

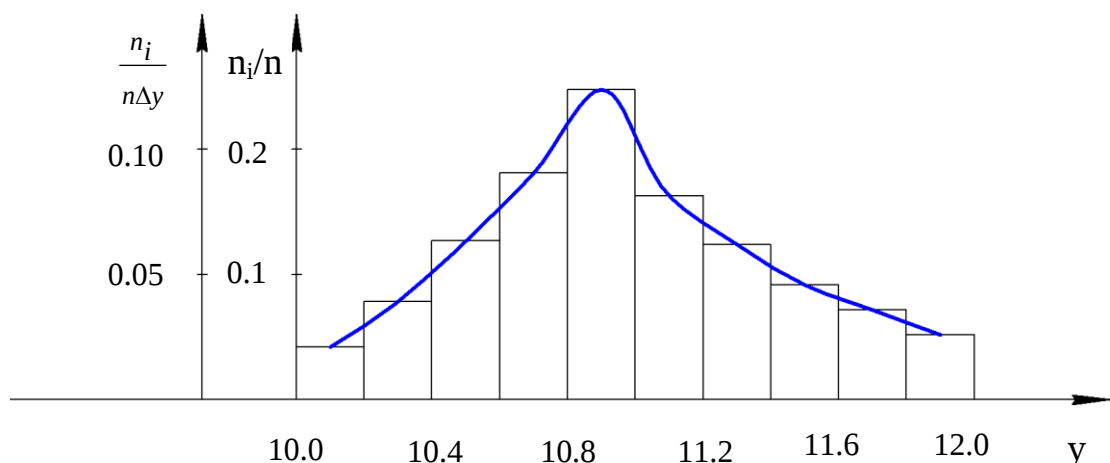


Рис. 5.3. Гістограма і крива розподілення результатів експериментів

Гістограма розподілу частот – це графічне представлення вибірки, де по осі абсцис відкладені величини інтервалів, а по осі ординат – величини частот, що потрапляють в цей інтервал.

На гістограмі виміряні значення випадкової величини більш чи менш симетрично групуються навколо деякого середнього значення, причому більші відхилення від нього зустрічаються рідше, ніж малі. Це обумовлено тим, що при одночасній дії великої кількості незалежних факторів похибки, які ними викликаються, мають протилежні знаки й у загальній похибці компенсуються. Некомпенсована частина цих похибок в однаковій мірі може бути як додатна, так і від’ємна.

Якщо одночасно із збільшенням числа експериментів зменшувати Δy , а по вісі координат відкладати комплекс $n_i/(n \Delta y)$, то при $\Delta y \rightarrow 0$ вершини прямокутників зіллються у плавну лінію, яка називається *кривою розподілення результатів експериментів*. Ордината цієї кривої представляє собою значення густини розподілення ймовірностей випадкової величини.

5.5.3. Основні теоретичні закони розподілення

Законом розподілення випадкової величини називається будь-яке співвідношення, яке встановлює зв’язок між можливими значеннями випадкової величини і відповідними їм імовірностями.

Вище були розглянуті основні характеристики теоретичної кривої розподілення, які аналізує теорія ймовірностей. У статистиці оперують з емпіричними розподіленнями. Основним завданням статистики є підбір теоретичних кривих по відомому емпіричному закону розподілення.

Розглянемо основні теоретичні криві розподілення.

Найчастіше у дослідженнях застосовують закон нормального розподілення.

Закон нормального розподілення

Практика свідчить, що більшість випадкових величин, таких як похибки при вимірюваннях (тиску, температури, концентрації та ін.), величина зношування деталей мають густину розподілення ймовірності, яка виражається формулою:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(y-m(y))^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.1)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини;

$m(y)$ – математичне очікування випадкової величини, що розглядається.

Це рівняння відповідає функції нормального розподілення при $m(y) \neq 0$. Якщо сумістити вісь ординат з точкою m , тобто $m(y)=0$, і прийняти $\sigma=1$, то закон нормального розподілення описується залежністю (за одиницю масштабу прийнята дисперсія σ^2):

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{y^2}{2}} \quad (5.2)$$

Якщо функція $f(y)$ описується формулами (5.1) або (5.2), вважають, що випадкова величина підпорядковується нормальному закону розподілення (закону Гауса). Крива нормального розподілення зображена на рис. 5.4.

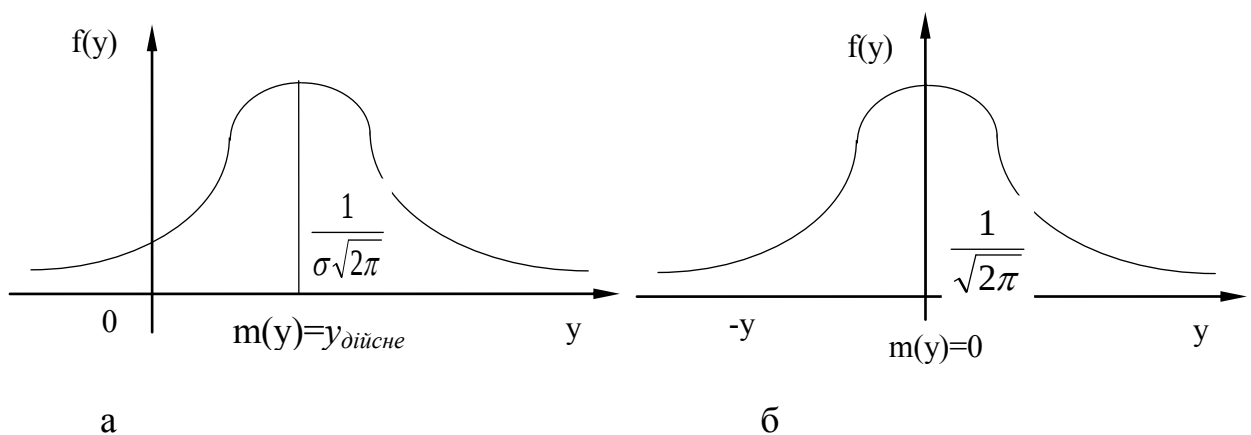


Рис. 5.4. Графічна залежність нормального закону розподілення (закону Гауса)

а – $m(y) \neq 0$,

б – $m(y) = 0$.

Таким чином, функція густини нормального розподілення випадкової величини характеризується двома параметрами: дійсним значенням $y_{\text{дійсне}}$ та середньоквадратичним відхиленням σ . Густина нормального розподілення, як видно з рис.5.4, симетрична відносно $y_{\text{дійсне}}$, досягає максимального значення при $y_k = y_{\text{дійсне}}$, прямує до нуля при збільшенні похибки вимірювання $|\Delta y_k| = |y_k - y_{\text{дійсне}}|$.

Нормальне розподілення має випадкова величина, на яку одночасно впливає велика кількість випадкових факторів, кожен з яких за своїм значенням не перевищує помітно інші.

На рис. 5.5 наведена фізична модель, яка демонструє закон імовірнісного розподілення піску, який витікає безперервним струменем із лійки через решето в ящик із вертикальними секціями. Досліди показують, що розподілення піску в ящику підкоряється закону нормального розподілення.

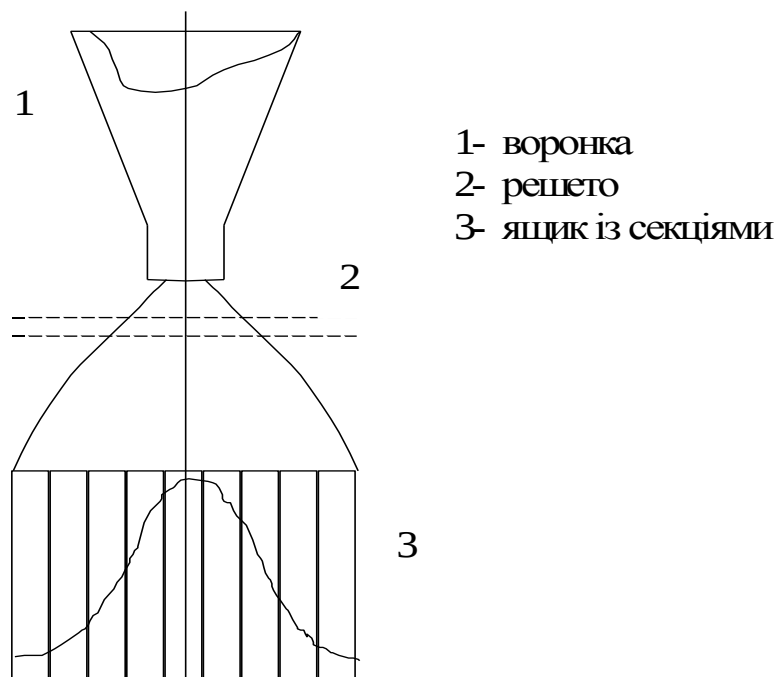


Рис.5.5. Фізична модель, яка характеризує закон імовірнісного розподілення піску

Значення величини середньоквадратичного відхилення визначає форму кривої розподілення $f(y)$. Три кривих густини нормального розподілення при

різних σ зображені на рис.5.6. Площі під трьома кривими однакові, але при малих значеннях σ криві йдуть крутіше і мають більше значення $f(y)$. Зі збільшенням σ значення $f(y)$ зменшується, і крива розподілення розтягується вздовж вісі y .

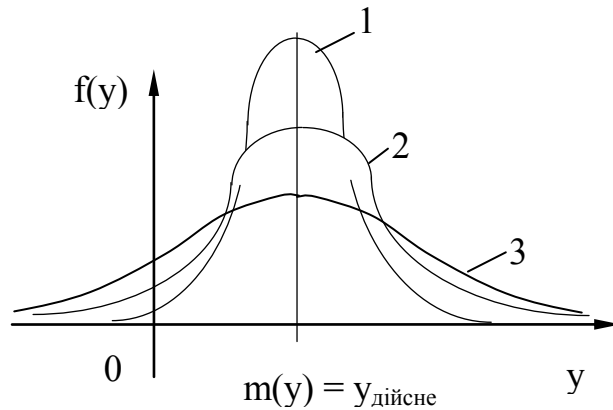


Рис.5.6. Криві густини нормального розподілення при різних дисперсіях:

$$1 - \sigma=1 \quad 2 - \sigma=2 \quad 3 - \sigma=4.$$

Таким чином, крива 1 характеризує густину розподілення випадкової величини, відновлюваність якої у повторних експериментах краща, ніж відновлюваність випадкових величин, які мають густину розподілення 2 і 3. Якщо крива $f(y)$ має гостру вершину навколо математичного очікування, по обидва боки якого спостерігається різкий спад, то великі похибки в експерименті зустрічаються рідко, а експеримент відзначається високою точністю.

Площа під кривою $f(y)$ дорівнює одиниці, що вказує на імовірність отримання хоч якого-небудь результату, який має випадкову похибку. Якщо на горизонтальній вісі виділити довільний інтервал $[a, b]$, то площа, обмежена кривою в цьому інтервалі, дорівнює імовірності того, що виміряна величина знаходиться в даному інтервалі. Математично це виражається рівнянням:

$$F(y) = \int_a^b P(y) dy = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{y-y_{\text{дійсне}}} \exp\left[-\frac{(y-y_{\text{дійсне}})^2}{2\sigma^2}\right] d(y-y_{\text{дійсне}})$$

Оскільки $(y - y_{\text{дійсне}} = \Delta)$, можна записати

$$F(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\Delta} \exp\left[-\frac{(\Delta)^2}{2\sigma^2}\right] d(\Delta)$$

Функція $F(\Delta)$ називається функцією розподілення ймовірностей випадкової величини. Форма кривої $F(\Delta)$ зображена на рис. 5.7.

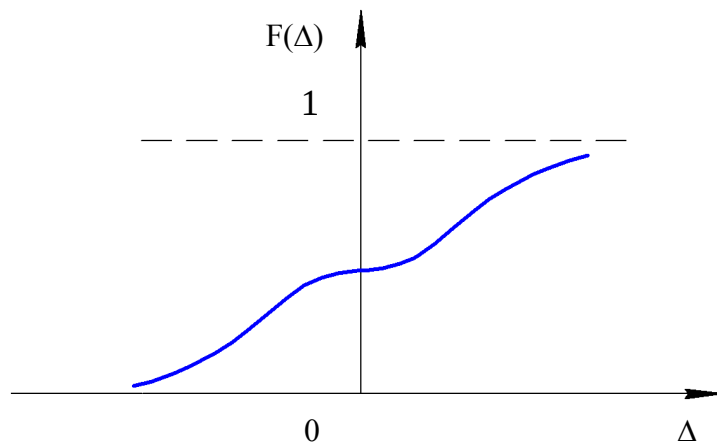


Рис.5.7. Функція розподілення ймовірностей для закону Гауса

Розглянемо довільний інтервал $[-t\sigma, t\sigma]$. Імовірність того, що випадкова величина ξ , яка має нормальне розподілення, виміряна з похибкою $\Delta = \pm t\sigma$, буде визначатися рівнянням:

$$P(-t\sigma \leq \Delta \leq t\sigma) = \int_{-t\sigma}^{t\sigma} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}\right) d(\Delta)$$

В табл. 5.3 наведено значення функції $F(\Delta)$ при математичному очікуванні $m_y = 0$ і середньому квадратичному відхиленні $\sigma = 1$ для різних t .

Чисельні значення функції $F(\Delta)$

t	F(Δ)	t	F(Δ)	t	F(Δ)
0.00	0.0000	0.90	0.6319	1.80	0.9281
0.05	0.0399	0.95	0.6579	1.85	0.9357
0.10	0.0797	1.00	0.6827	1.90	0.9426
0.15	0.1192	1.05	0.7063	1.95	0.9488
0.20	0.1585	1.10	0.7287	2.00	0.9545
0.25	0.1974	1.15	0.7419	2.1	0.9643
0.30	0.2357	1.20	0.7699	2.2	0.9722
0.35	0.2737	1.25	0.7887	2.25	0.9756
0.40	0.3108	1.30	0.8064	2.3	0.9786
0.45	0.3473	1.35	0.8230	2.4	0.9836
0.50	0.3829	1.40	0.8385	2.5	0.9876
0.55	0.4177	1.45	0.8529	2.6	0.9907
0.60	0.4515	1.50	0.8664	2.7	0.9930
0.65	0.4843	1.55	0.8789	2.8	0.9949
0.70	0.5161	1.60	0.8904	2.9	0.9963
0.75	0.5467	1.65	0.9011	3.00	0.9973
0.80	0.5763	1.70	0.9109	3.2	0.9990
0.85	0.6047	1.75	0.9199	4.00	0.9999

Для $t=1, 2, 3$ чисельні значення імовірності дорівнюють відповідно 0,6827; 0,9545 та 0,9973. Інтервал 2σ називається довірчим інтервалом випадкової похибки, а величина P , що відповідає цьому інтервалу, довірчою імовірністю. Ця величина характеризує імовірність того, що похибка вимірювання випадкової величини не перевищить значення, рівного $\pm t\sigma$. Точне значення випадкової величини з імовірністю P буде визначатися рівністю $y_{\text{дійсне}} = \bar{y} \pm t\sigma$.

Довірчою імовірністю (надійністю) результату серії вимірювань називається імовірність $F(t)$ (або α) того, що дійсне значення *удійсне* вимірюваної величини потрапляє у даний довірчий інтервал. Ця величина визначається в долях одиниці або відсотках.

Величину $q=1-F(t)$ називають **рівнем значущості**.

Тобто, щоб характеризувати дійсне значення результату вимірювання, треба знати як похибку, так і надійність. Якщо довірчий інтервал збільшується, то зростає надійність того, що дійсне значення *удійсне* потрапляє в даний інтервал. В більшості експериментальних задач довірна імовірність становить 0,9 – 0,95 і більша надійність не потрібна. Значення $F(t)$ визначаються по табл.5.3.

Наприклад, нехай $t=1$, тоді по табл.5.3 знаходимо, що $F(t)$ (або α) = 0,683, тобто більше 68 % вимірювань знаходяться в інтервалі $\bar{y} - \sigma; \bar{y} + \sigma$, і за межі цього довірчого інтервалу потрапляє $(1-\alpha)$ доля від кількості усіх результатів, тобто 32%. Якщо $t=3$, то за межі довірчого інтервалу потрапляє лише 0,3% результатів всіх серій (правило трьох сігм).

На практиці неможливо провести надто багато вимірювань, тому не можна побудувати нормальне розподілення, щоб точно визначити дійсне значення *удійсне*. В цьому випадку гарним наближенням до дійсного значення можна вважати $\bar{y}$, а досить точною оцінкою похибки – вибірккову дисперсію S_n^2 , яка впливає із нормального закону розподілення, але стосується кінцевої кількості вимірювань.

Похибку отриманого середнього результату розраховують з допомогою критерію Стюдента та дисперсії середнього результату $\varepsilon = t\bar{s}$. Критерій Стюдента t вибирають з таблиць залежно від значення довірчого інтервалу q та кількості ступенів вільності $f=n-1$.

Розподілення Пуассона

Окрім закону нормального розподілення, на практиці використовують й інші. При аналізі багатьох випадкових дискретних процесів користуються

розподіленням Пуассона. Наприклад, потік автомобілів, які прибувають на певний завод та інші короткотривалі події, які відбуваються за одиницю часу.

Імовірність появи числа подій $y=1, 2, 3 \dots$ в одиницю часу у відповідності із законом Пуассона (рис.5.8):

$$P(y) = \frac{m^y}{y!} e^{-m} = \frac{(\lambda t)^y}{y!} e^{-\lambda t}$$

де y – кількість подій за даний відрізок часу t ; λ – густина, тобто середня кількість подій за одиницю часу; λt – середня кількість подій за час t , $\lambda t = m$.

Розподілення Пуассона відносять до подій, які трапляються нечасто, тобто $P(y)$ – імовірність того, що подія в період якого-небудь випробування відбудеться y разів при дуже великій кількості вимірювань m .

Приклад. З допомогою спостережень встановлено, що за 5 хвилин випустили 2 бракованих вироби. Яка імовірність того, що за цей же час буде випущено 4 бракованих вироби?

В цьому випадку $y=4$; $\lambda t = 2$; $P(y) = \frac{2^4 e^{-2}}{4!} = 0,09$. Як видно, ця величина дуже мала.

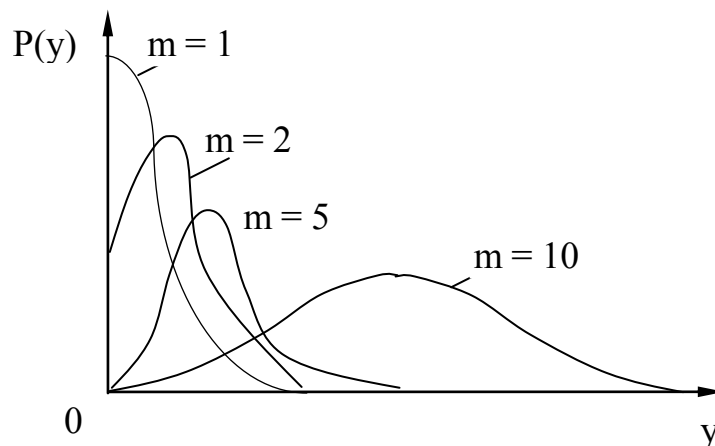


Рис.5.8. Загальний вигляд кривої розподілення Пуассона

Показниковий закон розподілення

Для дослідження кількісних характеристик деяких процесів (час обслуговування обладнання в ремонтних майстернях, відмови машин) можна використовувати показниковий закон розподілення (рис.5.9).

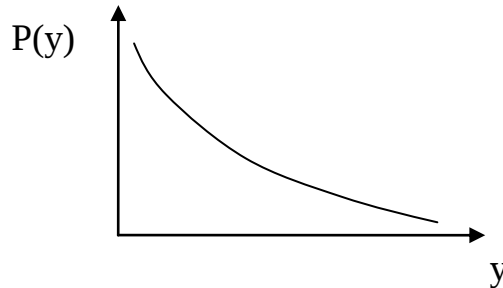


Рис.5.9. Загальний вигляд кривої показникового розподілення

Густина імовірності показникового закону виражається залежністю:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x},$$

де λ – густина або інтенсивність (середня кількість) подій за одиницю часу. В показниковому законі густина є величиною, зворотною математичному очікуванню: $\lambda = 1/m(y)$.

Окрім наведених вище, використовуються розподілення Вейбулла, Пірсона, гамма-розподілення.

5.5.4. Виключення грубої похибки вимірювання

При виконанні вимірювань бувають випадки, коли отримані результати значно відрізняються від решти результатів виконаної серії вимірювань. Це може бути пов'язано як із наявністю певної закономірності зміни вимірюваної величини, так і з надмірною похибкою вимірювання. Для визначення надмірних похибок (промахів) використовується кілька методів [11].

Оцінювання максимальних відмінностей

Найшвидшим методом визначення промаху є метод, що базується на оцінюванні максимальних відмінностей отриманих результатів. Для такої перевірки результати дослідів розташовують у впорядкований ряд по

збільшенню величини, і найменшому результату присвоюється номер перший (y_1), а максимальному результату – найбільший номер (y_n). Якщо «сумнівний»

результат буде найбільший y_n , то розраховують співвідношення $\alpha = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n - y_1}$, а

якщо сумнівним результатом є y_1 , то відношення $\alpha = \frac{y_2 - y_1}{y_n - y_1}$. Отримане значення α порівнюють із табличним α_m , яке при заданому рівні значущості q і відомій кількості повторень n знаходять по табл. А1 додатків. Якщо виявиться, що $\alpha > \alpha_m$, то сумнівний результат є помилковим, і його слід виключити із усіх наступних операцій по статистичній обробці отриманих результатів. Інакше виключати цей результат не можна.

Бувають випадки, коли є передумови передбачати, що два найбільших (або найменших) результати є промахами. Для таких випадків α

розраховується так: $\alpha = \frac{y_n - y_{n-2}}{y_n - y_1}$ або $\alpha = \frac{y_3 - y_1}{y_n - y_1}$.

Якщо розраховане α співпадає із табличним, то сумнівний результат не виключається, але існує велика імовірність промаху при отриманні цього результату. Якщо є можливість, то краще дослід повторити.

Приклад.

Є 8 повторних дослідних даних, які розташували у впорядкований ряд у порядку збільшення їх величини: 1, 4, 4, 6, 8, 9, 12, 31. Перегляд цього ряду дозволяє припустити, що останній результат є помилковим. Розраховуємо

$\alpha = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n - y_1} = \frac{31 - 12}{31 - 1} = 0,633$. В табл.А.1 при рівні значущості $q=0,01$ і кількості повторень дослідів $n=8$ знаходимо значення $\alpha_m=0,590$. Порівнюючи значення α і α_m , бачимо, що $\alpha > \alpha_m$ ($0,633 > 0,590$), тобто результат №8 є помилковим і його треба виключити.

Визначення грубих помилок по критерію максимального відхилення

Припустимо, що в результаті дослідів отримано n повторних спостережень $y_1, y_2, \dots, y_n$ і виникає підозра, що якесь спостереження є

промахом. Для перевірки такого припущення треба розрахувати: $\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^n y_k}{n}$ та

$S_{(y_k)} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1}}$ і по ним визначити відносне відхилення для k -го визначення:

$$r_p = \frac{y_k - \bar{y}}{S(y_k) \sqrt{\frac{n-1}{n}}}$$

Якщо знайдене r_p не перевищує по абсолютній величині табличного значення r_m для вибраного рівня значущості і числа ступенів вільності $f=n-2$, то сумнівний результат виключати не можна (табл. А2.)

Визначення грубих помилок по критерію Стюдента

Значення критерію Стюдента беруться із таблиці t -розподілення Стюдента в залежності від кількості ступенів вільності $f=n-1$ та рівня значущості q (0,05 або 0,01).

Значення критерію Стюдента для сумнівного результату розраховується по формулі:

$$t_p = \frac{y_k - \bar{y}}{S_{(y_k)}},$$

причому середнє значення та дисперсія розраховуються без урахування сумнівного результату.

Результат дослідів вважається промахом, якщо експериментальне значення критерію t_p по модулю більше табличного $t_p > t_m$ (табл. А.3 додатку).

Після виключення грубих помилок виконується математична обробка дослідних даних, що залишилися.

Приклад 1. Нехай виконано чотири вимірювання температури і отримані результати: $t_1=30^\circ\text{C}$; $t_2=36^\circ\text{C}$; $t_3=31^\circ\text{C}$; $t_4=32^\circ\text{C}$. Результат другого вимірювання помітно відрізняється від інших і є підозрілим. Виключимо його із розгляду і для значень, що залишилися, розрахуємо статистичні характеристики $\bar{t} = (30 + 31 + 32)/3 = 31^\circ\text{C}$;

$$S^2_{(y_k)} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(30-31)^2 + (31-31)^2 + (32-31)^2}{3-1}} = 1$$

Розраховуємо критерій Стюдента для сумнівного результату $t = \frac{t_2 - \bar{t}}{S} = \frac{36 - 31}{1} = 5$. Тут в знаменнику використовується значення S для результатів, що залишилися. При $f=3-1=2$ і рівні значущості $q=0,05$ табличне значення критерію Стюдента дорівнює 4,3. Оскільки експериментальне значення критерію Стюдента більше табличного, значення $t_2=36^\circ\text{C}$ є промахом і його враховувати не потрібно.

Приклад 2. Було виконано п'ять вимірювань температури об'єкта в одній і тій самій точці і отримані результати: $t_1=32,8^\circ\text{C}$; $t_2=34,3^\circ\text{C}$; $t_3=35,6^\circ\text{C}$; $t_4=35,8^\circ\text{C}$; $t_5=37,5^\circ\text{C}$. Оцінити випадкову похибку вимірювань.

1. Розрахуємо середнє арифметичне значення виміряної величини

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{1}{5} (32,8 + 34,3 + 35,6 + 35,8 + 37,5) = 35,2^\circ\text{C}$$

2. Знаходимо дисперсію окремого вимірювання

$$S^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (t_k - \bar{t})^2}{n-1} = \frac{1}{5-1} (2,4^2 + 0,9^2 + 0,4^2 + 0,6^2 + 2,3^2) = 3,08^\circ\text{C}^2$$

3. Визначаємо середню квадратичну похибку окремого вимірювання

$$S = \sqrt{3,08} = 1,76^\circ\text{C}$$

4. Визначаємо середню квадратичну похибку середнього арифметичного значення температури

$$\bar{S} = S / \sqrt{n} = 1,76 / \sqrt{5} = 0,785^{\circ}\text{C}$$

5. Задаємося значенням довірчої імовірності, рівним 0,95. Для рівня значущості $q=0,05$ при кількості ступенів вільності $f=5-1=4$ по табл. А3. додатку знаходимо значення критерію Стюдента $t=2,78$. Знайшовши по таблиці значення t і використовуючи раніше отримане значення $\bar{S}$, розраховують похибку отриманого середнього результату (правильність його або ступінь адекватності) $\varepsilon = t\bar{S} = 2,78 \cdot 0,785 = 2,182$.

Встановлюємо інтервал, в якому з довірчою імовірністю P буде перебувати середній результат: $\bar{t} \pm \varepsilon$; $35,2 \pm 2,182$

6. Розраховуємо відносну похибку вимірювання:

$$\Delta t = \frac{t\bar{S}}{\bar{t}} \cdot 100 = \frac{\varepsilon}{\bar{t}} \cdot 100 = \frac{2,182}{35,2} \cdot 100 = 6,2\%$$

Оскільки отриманий результат здається досить великим, перевіримо його на надмірні похибки (наприклад, по критерію α). В даному випадку перевіряємо значення $t_1=32,8^{\circ}\text{C}$ і $t_5=37,5^{\circ}\text{C}$. Розрахуємо значення критерію α для кожного із них:

$$\alpha_1=(t_2- t_1)/(t_5-t_1)=0,319; \quad \alpha_5=(t_5- t_4)/(t_5-t_1)=0,361$$

Оскільки для рівня значущості $q=0,05$ і $n=5$ табличне значення критерію $\alpha_m=0,642$, то можна зробити висновок про те, що значення температури t_1 і t_5 не є промахами і їх не можна виключати із розрахунків.

Контрольні запитання

1. Поясніть поняття залежна і незалежна змінна.
2. Наведіть приклад непрямого вимірювання температури.
3. Як класифікують похибки вимірювання?
4. Чим зумовлені систематичні похибки вимірювань?
5. Які складові систематичної похибки визначити найскладніше?
6. Поясніть суть методів порівняння зі зразком і заміщення.

7. Яким чином можна знизити систематичні похибки?
8. В чому полягає небезпека наявності випадкових похибок при вимірюваннях?
9. Назвіть теоретичні характеристики випадкових величин.
10. В яких одиницях вимірюється дисперсія?
11. Як співвідносяться між собою дисперсія окремого вимірювання та дисперсія середньої арифметичної величини?
12. Назвіть етапи побудови емпіричної кривої розподілення.
13. Як підібрати теоретичну криву по відомому емпіричному закону розподілення випадкової величини?
14. Назвіть основні теоретичні закони розподілення.
15. Які характеристики потрібно мати, щоб перевірити відповідність результатів нормальному закону розподілення?
16. Як, оцінюючи форму кривої емпіричного розподілення, охарактеризувати точність проведених вимірювань?
17. В чому суть правила трьох сігм?
18. Яким чином можна перевірити результати вимірювань на наявність промахів?

6. ОДНОФАКТОРНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ

6.1. Види факторів, вимоги до них

Сучасна техніка експерименту досягла досить високого рівня. У машинобудуванні експериментально визначають різні величини: швидкість та прискорення руху, сили і моменти сил, споживані потужності, механічні напруження, деформації, частоти коливань тощо. Найчастіше експеримент служить для перевірки теоретичних висновків чи окремих припущень, що приймаються апріорно при цих висновках.

Проте у ряді випадків відсутні початкові дані для теоретичних висновків про характер досліджуваних явищ. Тоді процес дослідження необхідно починати з пробних експериментів, на підставі яких може бути створена модель досліджуваного об'єкта, після чого потрібно використовувати теоретичні прийоми аналізу і синтезу з подальшою експериментальною перевіркою отриманих висновків.

Для отримання емпіричної залежності деякої величини y від n незалежних змінних використовуються фізичний або обчислювальний експерименти.

Фактором називається змінна величина, яка за припущенням впливає на результати експерименту. Кожен з факторів може приймати у досліді одне з декількох значень, які називаються **рівнями фактору**.

Всі фактори можна поділити на якісні та кількісні. **Якісні** фактори – це різні речовини, технологічні способи, апарати та ін. Тривалість процесу, температура, концентрація, вологість або витрати теплоносія, швидкість подачі речовин – це приклади **кількісних** факторів, які зустрічаються найчастіше.

Можна виділити *основні* і *випадкові* фактори. До перших відносяться всі, що вивчаються, а також інші фактори, які враховуються та змінюються, і служать для стабілізації явища. Фактори, які не піддаються обліку і вимірюванню, відносяться до випадкових. При плануванні експериментів до факторів висувають ряд *вимог*:

1. Керованість, яка означає можливість їх одночасного встановлення на вибраних рівнях і стабілізації цих значень в процесі експерименту.

2. Однозначність і безпосередній вплив на об'єкт.

3. Досить висока точність їх вимірювання з урахуванням специфіки поставленої задачі. Так, якщо вивчається процес, який триває десять годин, то немає необхідності враховувати секунди.

Фактори повинні бути сумісними і незалежними. **Сумісність** означає здійснимість і безпеку комбінації факторів (наприклад, не призведуть до вибуху або виходу з ладу установки), **незалежність** – можливість стабілізації фактора на будь-якому рівні незалежно від рівнів інших факторів.

При плануванні експерименту треба намагатися розглядати вплив якомога більшої кількості факторів. Але чим більше факторів, тим більше дослідів треба проводити для вирішення поставленої задачі.

Будь-який процес можна охарактеризувати деякою залежністю параметра y від факторів $x_1, x_2, \dots, x_n$, які діють в системі. Тому дослідження будь-якої системи можна представити як дослідження функції багатьох змінних, тобто знаходження залежності виду $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Це рівняння називають функцією відгуку. Геометричне зображення функції відгуку y факторному просторі є **поверхнею відгуку**.

Якщо в експерименті виявляється залежність від одного фактора, такий експеримент є **однофакторним**. У випадку впливу кількох факторів експеримент буде **багатофакторним**. При однофакторному експерименті поверхня відгуку являє собою лінію на площині, при двофакторному – геометричну поверхню в тривимірному просторі (рис.6.1). При кількості факторів, більшій за три, геометричне зображення поверхні відгуку стає неможливим і доводиться обмежуватися тільки математичними залежностями.

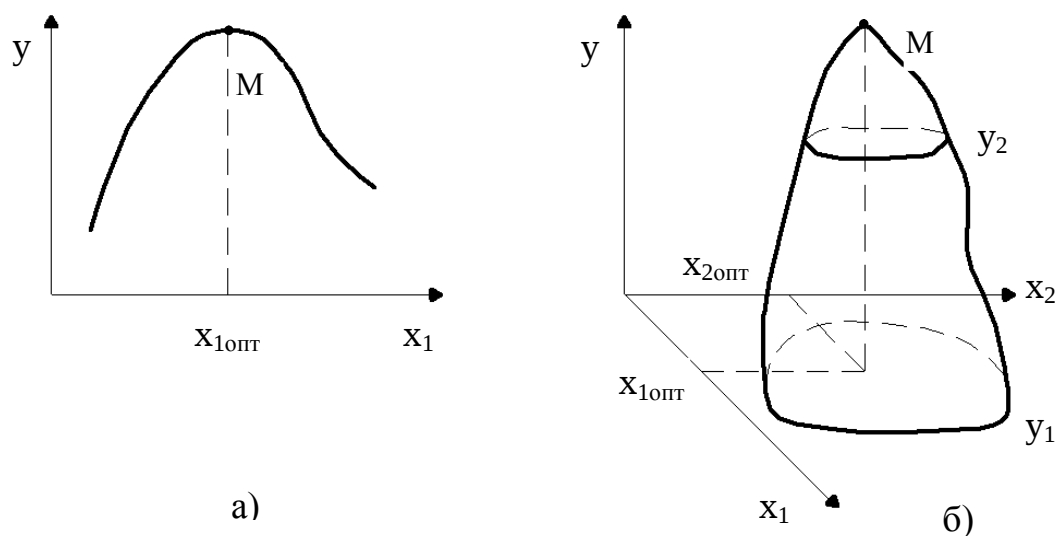


Рис.6.1. Залежність виходу процесу від одного фактору (а) та поверхня відгуку для двохфакторного процесу (б)

Якщо зробити переріз поверхні відгуку площинами, паралельними x_1 та x_2 , і отримані в перерізах лінії ($y_1 = \text{const}$, $y_2 = \text{const}$ і т.д.) спроектувати на площину x_1 та x_2 , то поверхня відгуку для двохфакторного процесу буде зображена на площині (рис.6.2).

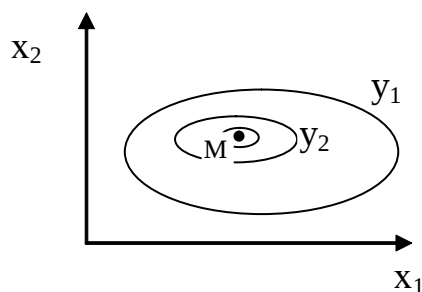


Рис.6.2. Лінії рівного відгуку

Кожна лінія відповідає певному значенню параметра оптимізації y і називається лінією рівного відгуку. Точка M на рис.6.2 є оптимальною точкою.

6.2. Планування однофакторних експериментів

До теперішнього часу в технічних галузях, зокрема в машинобудуванні, часто застосовується однофакторний спосіб експериментальних досліджень. При цьому всі змінні досліджуваного об'єкта, крім тієї, що вивчається,

фіксуються на постійному рівні. Однофакторний експеримент реалізують, якщо:

- предметом дослідження є вплив цього і тільки цього фактора;
- вплив саме цього фактора є домінуючим;
- інші фактори, наприклад, параметри технологічного процесу, не можна змінювати.

Планування експерименту – це вибір кількості дослідів та умов їх проведення, необхідних і достатніх для вирішення поставленого завдання з потрібною точністю. На сьогоднішній час розроблені різні методи планування експериментів. Вибір методу здійснюється з урахуванням постановки завдання і властивостей об'єкта дослідження [11]. Планування експерименту проводять виключно у випадках активного експерименту. При проведенні пасивного експерименту також можлива побудова моделі процесу (кореляційна або регресійна модель), але внаслідок випадковості експериментальних точок точність такої моделі буде нижчою. Крім того, ускладнюється і обробка результатів експерименту [33].

Лише для небагатьох експериментів вдається правильно оцінити точний об'єм експериментальної роботи. При дуже малому обсязі експериментальних даних може виявитися неможливим знайти закон або функцію, дослідник може отримати низьку точність постійних величин або не помітити який-небудь слабкий ефект, який має велике теоретичне значення. З іншого боку, при надто великому обсязі отриманих даних експеримент триває дуже довго, коштує дорого, обробка даних затягується.

План експерименту виявляється компактним і ефективним, якщо заздалегідь встановлюються інтервали між значеннями змінних. Якщо дослідника цікавить функціональне співвідношення між незалежною змінною x та залежною змінною y , то цю функцію можна зобразити у вигляді деякої кривої (або прямої) в системі координат (x, y) . Така крива складається із нескінченної кількості окремих точок, з яких необхідно вибрати деяку скінчену кількість точок, яка практично прийнятна, для представлення даної

функції. Таким чином, вибір кінцевої сукупності експериментальних точок є необхідним і важливим етапом планування, який здійснюється до початку експерименту, хоча, на жаль, ця робота нерідко проводиться в ході самого експерименту. Цілком очевидно, що вибір експериментальних точок слід починати з визначення екстремальних показань вимірювальної апаратури. До числа типових обмежень, які накладаються на обладнання, що застосовується при інженерному експерименті, відносяться: граничний тиск, створений компресором; гранична частота обертання, обумовлена конструкцією; межі вимірювання навантаження, обумовлені розмірами динамометра; гранична витрата рідини, обумовлена площею поперечного перерізу труби. Такі граничні значення нерідко можна визначити або розрахувати до початку роботи, хоча часто їх необхідно перевіряти експериментальним шляхом, особливо якщо неперевірені зразки надходять для початкової перевірки їх характеристик [34].

Найбільш розповсюдженим способом планування експериментів для побудови моделі у випадку одного значущого фактора є метод *еквідистантних планів*. У відповідності з цим методом, розраховуються рівні фактора, при яких виконуються експерименти:

$$x_i = a + \frac{i(b-a)}{N-1}; \quad i = 0, 1, \dots, N-1,$$

де a, b – межі початкового діапазону зміни; i – номер експерименту мінус 1; N – загальна кількість експериментів.

Такий план експерименту має однакові інтервали між значеннями фактора.

Однак існують випадки, для яких вибір однакових інтервалів зміни фактора недоцільний:

1. *Неоднорозкова точність результатів* на різних ділянках області досліджуваних значень. Цей критерій впливає безпосередньо із розгляду невизначеностей. Можна очікувати, що для багатьох механічних систем випробування, що проводяться при малій потужності або малому напорі,

будуть найменш точними. Якщо аналіз похибок показує, що на якійсь ділянці дані викликають найбільший сумнів, то намагаються заповнити цю ділянку більшою кількістю точок. Не можна встановити якесь чітке правило, яке вказує, скільки додаткових експериментів слід проводити при отриманні сумнівних даних, однак можна вважати, що в цьому випадку справедливе загальне правило, що пов'язує підвищення точності із кількістю додаткових експериментів: чотири точки дають вдвічі більшу, а дев'ять – втричі більшу точність, ніж одна. В цьому випадку експериментатору слід керуватися здоровим глуздом.

2. Характер експериментальної функції.

В більшості інженерних експериментів дослідник зазвичай має уявлення про експериментальну функцію. Якщо функція частково або повністю відома, то часто не варто витрачати час і доцільно вибрати план експерименту з однаковими інтервалами між точками. Наприклад, втрата тиску ΔP через нову прокладку як функція швидкості v і густини ρ може бути невідомою доти, поки не буде проведений експеримент. Однак експериментатор, який знайомий з роботою гідравлічних систем, впевнено скаже, що функція має такий вигляд:

$$\Delta P = k \frac{\rho v^2}{2g} ,$$

де коефіцієнт k може або залишатися постійним при зміні v , або незначно залежати від v .

Якщо загальна функція відома точно або її вважають відомою, то навряд чи може бути виправдана проста лінійна зміна однієї зі змінних. В цьому випадку при рівних проміжках Δv отримуємо графік, зображений на рис. 6.3. Очевидно, що такий вибір інтервалів має недоліки: на ділянці великих значень швидкості точок недостатньо, а на ділянці малих швидкостей їх надлишок. Замість цього можна вибрати точки таким чином, щоб отримати однакові прирости тиску. Тут концентрація точок вища на ділянці великих швидкостей

v . У багатьох випадках зміни низьких тисків характеризуються великою невизначеністю, тому план експерименту, в якому беруться однакові інтервали між значеннями v , може виявитися прийнятним.

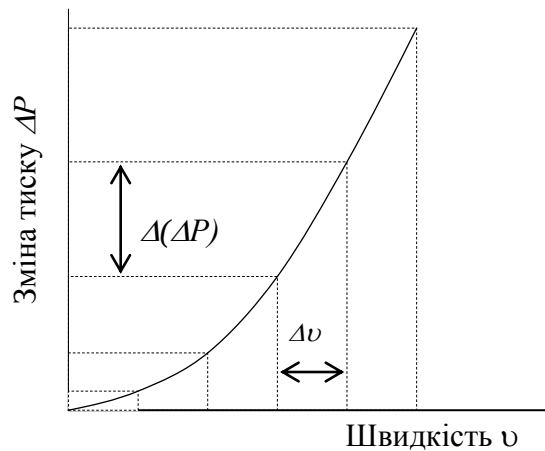


Рис. 6.3. Графік залежності $\Delta P = kv^2$ з рівними приростами швидкості

Припустимо тепер, що точність однакова для всіх значень v і ΔP . В цьому випадку необхідно, щоб між точками були розміщені однакові відрізки експериментальної кривої. Якщо ΔS – відрізок кривої, то для будь-якої неперервної диференційованої функції загальний вираз для ΔS має вигляд:

$$\Delta S = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \Delta x \quad (6.1)$$

Для функції, що розглядається,

$$\Delta S = \sqrt{1 + \frac{k^2 \rho^2 v^2}{g^2}} \Delta v .$$

Якщо між двома заданими точками при v_1 береться інтервал Δv_1 , то наступний інтервал Δv_2 знаходиться (при $\Delta S_1 = \Delta S_2$) зі співвідношення

$$\Delta v_2 = \Delta v_1 \sqrt{\frac{1 + k^2 \rho^2 v_1^2 / g^2}{1 + k^2 \rho^2 v_2^2 / g^2}}$$

де v_2 – швидкість на початку наступного інтервалу.

Визначаючи таким чином інтервал за інтервалом, отримаємо компактний і логічно обґрунтований графік, зображений на рис. 6.5.

На жаль, для багатьох експериментів цей математичний метод неприйнятний. Основною метою проведення експерименту по перевірці зміни тиску є визначення коефіцієнта k . При визначенні інтервалів між значеннями змінних на основі формули (6.1) необхідно знати k . Таким чином, дослідник повинен скористатися деякими іншими наближеними або спеціальними методами, які не вимагають повної інформації про функцію, що досліджується.

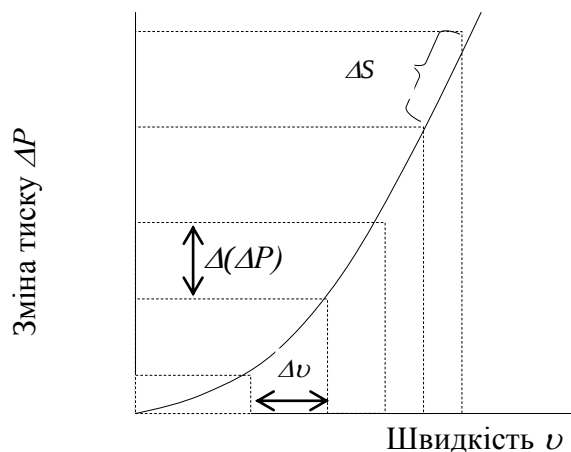


Рис.6.5. Графік з однаковими інтервалами ΔS вздовж кривої

Часто з допомогою тих чи інших алгебраїчних перетворень функцію можна перетворити на лінійну. Функцію, яка виражає залежність падіння тиску від швидкості, можна перетворити до такого вигляду:

$$\ln \Delta P = \ln \frac{k\rho}{2g} + 2\ln v$$

Будуючи графік для $\ln \Delta P$ як функції $\ln v$, можна отримати криву з рівномірним розподілом точок, взявши однакові прирости $\ln v$, а не v . Окрім того, не треба знати значення k , g або ρ і навіть немає необхідності знати, що швидкість v має показник степеня 2.

Вибір інтервалів між точками проводиться не для того, щоб отримати симетричну або “зручну” криву. Єдиною причиною визначення величини інтервалів між точками є прагнення того, щоб у будь-якій частині експериментальної кривої мати однакову точність.

6.3. Обробка результатів однофакторних експериментів

Дослідне вивчення будь-якої невідомої закономірності $y=f(x)$ дає результати спостережень у вигляді таблиці відповідних значень x_i та y_i . По цим же значенням можна побудувати криву залежності y від x .

Найбільш точним способом побудови на площині x у найкращої кривої, або кривої кореляції, по деякій групі точок є **метод найменших квадратів**. Припустимо, що ми варіюємо незалежну змінну x в деякому інтервалі значень і з вимірювального приладу зчитуємо значення залежної змінної y . Задаючи всі можливі значення x і багаторазово зчитуючи y , ми б отримали нескінченну сукупність експериментальних точок, які заповнюють область значень (x, y) , і мають нескінченну множину двовірних нормальних розподілень змінної y . Побудувавши для кожного інтервалу залежність величини відхилення від кількості відліків, отримаємо розподілення, зображене на рис. 6.6.

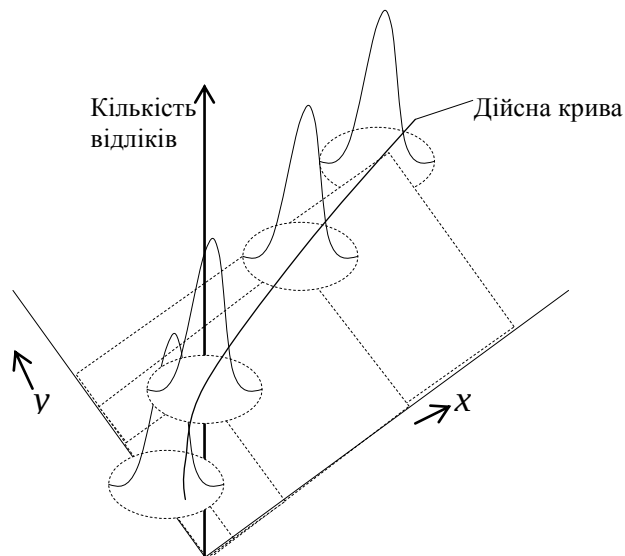


Рис.6.6. Залежність $y=f(x)$ і густина розподілу імовірностей результатів

Цю ж залежність можна наближено представити деякою емпіричною формулою $y = \varphi(x)$. Таке рівняння називається **емпіричним**. Це означає, що його знаходять на основі емпіричних даних, а не з теоретичних міркувань.

Очевидно, що вибір тієї чи іншої емпіричної формули повинен відповідати вимозі найкращого наближення $\varphi(x)$ до $f(x)$ в деякому інтервалі значень $\alpha \leq x \leq \beta$.

Функцію $f(x)$ можна виразити різними емпіричними формулами. В деяких задачах в якості $\varphi(x)$ беруть функцію, для якої в заданому інтервалі $\alpha \leq x \leq \beta$ найбільше значення величини $|f(x) - \varphi(x)|$ буде меншим, ніж при виборі будь-якої іншої емпіричної формули. Зручніше проводити оцінку наближення по методу найменших квадратів. Оскільки найчастіше бувають відомими значення функції лише для окремих значень x_i в заданому інтервалі, то шукану емпіричну формулу $y = \varphi(x)$ підкоряють вимозі: сума

$$S = \sum_{i=0}^n [f(x_i) - \varphi(x_i)]^2$$

повинна мати найменше значення з усіх можливих.

Найкраща лінія, яка проходить через безліч точок, розсіяних на площині x у, повинна займати положення, при якому сума квадратів відхилень експериментальних значень від цієї лінії мінімальна. Це правило і пояснює походження терміну “метод найменших квадратів”.

Якщо емпіричну функцію $\varphi(x)$ взяти у вигляді багаточлена степеня n

$$\varphi(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n,$$

то, збільшуючи степінь цього багаточлена, можна досягти будь-якого ступеня наближення і навіть повної відповідності між дослідними даними та формулою. Але потреби прагнути до цього немає, оскільки через похибки дослідних даних така відповідність іноді навіть зменшує точність формули.

В інших випадках доводиться підбирати формулу, порівнюючи криву, побудовану по даним спостережень, з типовими графіками формул, наведеними у довідниках. Іноді виявляється, що емпірична крива схожа на

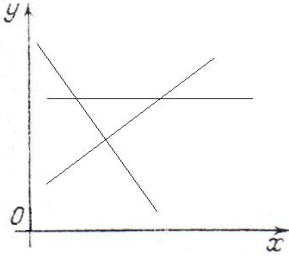
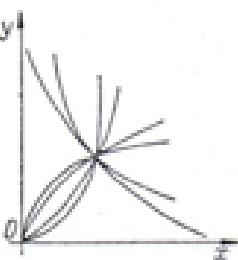
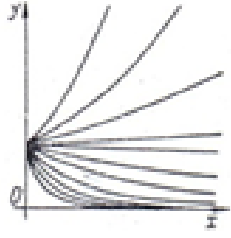
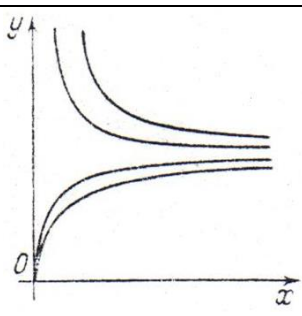
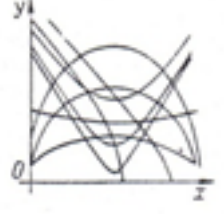
кілька кривих, рівняння яких різні. З іншого боку, нерідкі випадки, коли та чи інша емпірична формула досить точно виражає залежність між заданими чисельними значеннями величин, але типовий графік цієї формули зовсім не схожий на експериментальну криву. Це може відбуватися, якщо експериментальна крива і графік формули побудовані для різних проміжків зміни аргументу. Зміна чисельних значень коефіцієнтів, які входять у формулу, часто суттєво змінює вид її графіка. Вибір масштабу координатних осей відображається на формі побудованої кривої, що також може призвести до видимої відмінності експериментальної кривої від графіка формули, що цілком їй відповідає.

Тому перед визначенням чисельних значень коефіцієнтів у вибраній емпіричній формулі треба перевірити можливість її використання *методом вирівнювання*. Лише після цього можна перейти до знаходження тих значень постійних коефіцієнтів, які дадуть найкраще наближення дослідних і розрахованих величин.

Метод вирівнювання полягає у перетворенні функції $y = \varphi(x)$ на лінійну функцію. Досягається це шляхом заміни змінних y та x новими змінними $R = \psi(x, y)$ та $Z = \zeta(x, y)$, які вибираються так, щоб отримати рівняння прямої лінії: $Z = A + BR$ (табл. 6.1). Розрахувавши значення Z_i та R_i по заданим x_i та y_i , наносять їх на діаграму з прямокутними координатами (R, Z) . Якщо побудовані таким чином точки розташовуються поблизу прямої лінії, то обрана емпірична формула $y = \varphi(x)$ може використовуватися для характеристики залежності $y = f(x)$ [35].

Таблиця 6.1

Способи переходу від криволінійних до прямолінійних графіків

№ п/п	Функція	Типові графіки формул	Що необхідно зробити, щоб отримати на графіку пряму
1	$y = c_1 \cdot x + c_2$		В лінійних координатах будується залежність y від x
2	$y = c_1 \cdot x^{c_2}$		В логарифмічних координатах будується залежність y від x або в лінійних координатах будується залежність $\log y$ від $\log x$
3	$y = c_1 \cdot 10^{c_2 \cdot x}$ або $y = c_1 \cdot e^{c_2 \cdot x}$		В напівлогарифмічних координатах будується залежність y від x (вісь x – лінійна, вісь y – логарифмічна) або в лінійних координатах будується залежність $\log y$ від x
4	$y = x / (c_1 + c_2 \cdot x)$		В лінійних координатах будується залежність $1/y$ від $1/x$ або x/y від x
5	$y = c_1 + c_2 x + c_3 x^2$		В лінійних координатах будується залежність $(y - y_1) / (x - x_1)$ від x , де x_1 і y_1 – координати довільної точки заданої кривої

Визначення коефіцієнтів, які входять в емпіричну формулу

Після того, як встановлена придатність вибраної формули для вираження залежності змінних, що вивчається, треба визначити чисельні

значення коефіцієнтів, які входять у формулу. Найкращі результати дає метод найменших квадратів.

Нехай n – кількість експериментальних точок, m – кількість коефіцієнтів емпіричного рівняння.

Практично задача визначення коефіцієнтів емпіричного рівняння зводиться до визначення мінімуму функції багатьох змінних. Якщо $\varphi(x, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m)$ є функцією диференційованою і треба вибрати $c_0, c_1, c_2, \dots, c_m$ так, щоб

$Q = \sum_{i=1}^n (\varphi(x_i, c_1, c_2, \dots, c_m) - y_i)^2 \rightarrow \min$, необхідною умовою мінімуму $Q(c_0, c_1, c_2, \dots, c_m)$ є виконання рівностей:

$$\frac{\partial Q}{\partial c_1} = 0 \quad \frac{\partial Q}{\partial c_2} = 0 \dots \quad \frac{\partial Q}{\partial c_m} = 0$$

або

$$\begin{cases} 2 \sum_{i=1}^n [y_i - \varphi(x_i, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m)] \frac{\partial \varphi(x_i)}{\partial c_0} = 0 \\ 2 \sum_{i=1}^n [y_i - \varphi(x_i, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m)] \frac{\partial \varphi(x_i)}{\partial c_1} = 0 \\ \dots \dots \dots \end{cases}$$

Після перетворень отримаємо:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n y_i \frac{\partial \varphi(x_i)}{\partial c_0} - \sum_{i=1}^n \varphi(x_i, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m) \frac{\partial \varphi(x_i)}{\partial c_0} = 0 \\ \sum_{i=1}^n y_i \frac{\partial \varphi(x_i)}{\partial c_1} - \sum_{i=1}^n \varphi(x_i, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m) \frac{\partial \varphi(x_i)}{\partial c_1} = 0 \\ \dots \dots \dots \end{cases} \quad (6.2)$$

Система (6.2) має стільки рівнянь, скільки невідомих коефіцієнтів входить в емпіричне рівняння.

Оскільки $Q \geq 0$ при будь-яких $c_0, c_1, c_2, \dots, c_m$, у величини Q повинен існувати хоча б один мінімум. Тому, якщо система (6.2) має хоча б один

розв'язок, він і є мінімумом для величини Q . Вирішувати систему (6.2) в загальному вигляді не можна, для цього треба задатися конкретним видом функції φ [36].

Для проведення нелінійної регресії загального виду в програмі MathCAD використовується функція *genfit* ($XT, YT, c0, F$), яка дозволяє визначити вектор c параметрів функції φ , що дає мінімальну середньоквадратичну похибку наближення функцією $\varphi(x, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m)$ початкових даних XT, YT [37].

Вектор F повинен бути вектором із символьними елементами, причому вони повинні містити аналітичні вирази для початкової функції $\varphi(x, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m)$ та її похідних по всім параметрам. Вектор $c0$ – початкові значення елементів вектора c , необхідні для вирішення системи нелінійних рівнянь регресії ітераційним методом.

Значення похідних по змінних $c_1, c_2, \dots, c_m$ можна обчислювати засобами символьних операцій [37], наприклад для функції

$$\varphi(x) = c_1 \cdot e^{-c_2 \cdot x} + c_1 \cdot c_2$$

для визначення часткових похідних в Math CAD треба записати:

$$\varphi(x, c) := c_1 \cdot \exp(-c_2 \cdot x) + c_1 \cdot c_2$$

$$\frac{d}{dc} \varphi(x, c) \rightarrow$$

Значення часткових похідних функції φ по c_1 і c_2 : $\exp(-c_2 \cdot x) + c_2$ і $c_1 \cdot x \cdot \exp(-c_2 \cdot x) + c_1$ програма виводить на екран.

Для перевірки адекватності отриманої залежності обчислюють критерій

$$F_{sr} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{\frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cli})^2}$$

Фішера: , де Y_{cli} – обчислені по обраній формулі значення функції. Якщо розрахунковий критерій Фішера більше табличного (табл. А.4. додатку), модель адекватна.

Приклад апроксимації однофакторної залежності методом найменших квадратів з використанням методу вирівнювання в програмі MathCAD:

ORIGIN:=1
 ^^^^^^^^^

XT :=	$\begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 6 \\ 8 \\ 10 \\ 12 \\ 14 \\ 16 \\ 18 \\ 20 \\ 22 \\ 24 \\ 26 \\ 28 \end{pmatrix}$	YT :=	$\begin{pmatrix} 2.99 \\ 3.43 \\ 3.72 \\ 3.94 \\ 4.12 \\ 4.27 \\ 4.41 \\ 4.53 \\ 4.63 \\ 4.73 \\ 4.82 \\ 4.91 \\ 4.99 \\ 5.06 \end{pmatrix}$
-------	--	-------	--

$R := \log(XT)$

R =

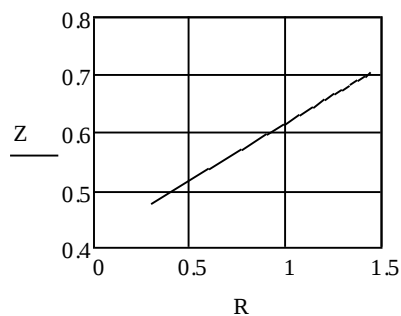
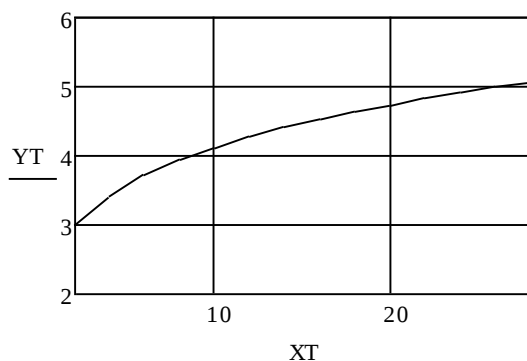
	1
1	0.301
2	0.602
3	0.778
4	0.903
5	1
6	1.079
7	1.146
8	1.204
9	1.255
10	1.301
11	1.342
12	1.38
13	1.415
14	1.447

$Z := \log(YT)$

Z =

	1
1	0.476
2	0.535
3	0.571
4	0.595
5	0.615
6	0.63
7	0.644
8	0.656
9	0.666
10	0.675
11	0.683
12	0.691
13	0.698
14	0.704

n := length(XT) n = 14



$$f(x, a, b) := a \cdot x^b$$

$$\frac{d}{da} f(x, a, b) \rightarrow x^b \quad \frac{d}{db} f(x, a, b) \rightarrow a \cdot x^b \cdot \ln(x)$$

$$Q(x, a, b) := \begin{pmatrix} a \cdot x^b \\ x^b \\ a \cdot x^b \cdot \ln(x) \end{pmatrix}$$

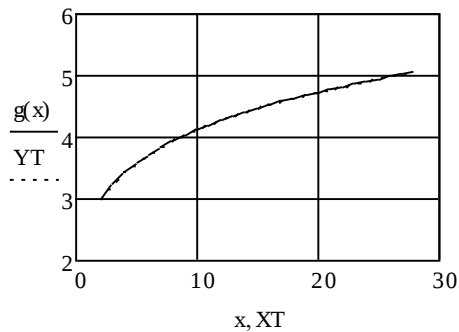
$$\text{guess} := \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.2 \end{pmatrix}$$

$$\underline{c} := \text{genfit}(XT, YT, \text{guess}, Q)$$

$$c = \begin{pmatrix} 2.601 \\ 0.2 \end{pmatrix}$$

$$x := XT_1, XT_1 + 1 \dots XT_n$$

$$\underline{g}(x) := Q(x, c_1, c_2)_1$$



$$Q(x, c_1, c_2)_1$$

2.988
3.24
3.431
3.588
3.721
3.837
3.941
4.035
4.12
4.199
4.273
4.342
4.407
4.468
4.526
...

6.4. Кореляційний аналіз результатів вимірювання

Якщо значення однієї величини однозначно визначає значення іншої, то в цьому разі існує *функціональна залежність* між величинами. Але частіше одному значенню незалежної величини може відповідати не одне, а кілька значень іншої величини. Між змінними існує зв'язок, але не цілком визначений. Якщо в такій ситуації розглядати одну величину як незалежну, а іншу – як залежну від першої, то залежна величина поводить себе як випадкова і її можна описати деяким імовірнісним законом розподілу, параметри якого закономірно змінюються від зміни значень незалежної величини. В цьому разі говорять про *статистичну* (або імовірнісну) *залежність* між величинами. При вивченні статистичних залежностей розрізняють регресію та кореляцію.

Регресія – це залежність математичного очікування (середнього значення) випадкової величини у від величини x .

Регресійний аналіз встановлює форму залежності між випадковою величиною y і значеннями однієї або кількох змінних величин, значення яких вважаються заданими точно. Така залежність, як правило, визначається

деякою математичною моделлю – рівнянням регресії, яке містить кілька невідомих параметрів. На основі вибірових даних знаходять оцінки цих параметрів, потім визначають статистичні похибки оцінок і перевіряють відповідність прийнятої моделі експериментальним даним.

Кореляція – це залежність між двома випадковими величинами y та x .

Кореляційний аналіз полягає у визначенні **тісноти зв'язку** між двома **випадковими** величинами [38]. За міру зв'язку береться коефіцієнт кореляції, який обчислюють на основі вибірки пар значень (x_i, y_i) обсягу n з генеральної сукупності x і y .

Сутність кореляційного аналізу зводиться до встановлення рівняння регресії, тобто виду залежності між випадковими величинами, оцінки тісноти зв'язків та достовірності результатів вимірювань.

Щоб попередньо з'ясувати наявність кореляційного зв'язку між x та y , наносять точки на графік і будують так зване кореляційне поле (рис. 6.7).

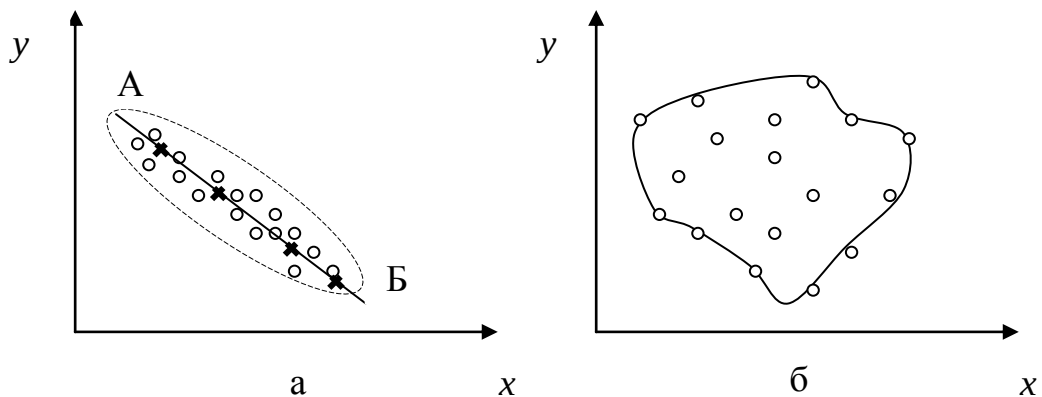


Рис.6.7. Кореляційне поле:
а – змінні корельовані; б – кореляційний зв'язок відсутній

По тісноті групування точок навколо прямої або кривої лінії, по нахилу лінії можна візуально судити про наявність кореляційного зв'язку. Так, з рис.6.7 а видно, що експериментальні дані мають певний зв'язок між x та y . В той же час вимірювання, наведені на рис.6.7 б, такого зв'язку не мають.

Кореляційне поле характеризує вид зв'язку між x та y . По формі поля можна орієнтовно судити про форму графіка, яка характеризує прямолінійну або криволінійну залежності. Навіть для досить 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 виконується умова найменших квадратів.

Весь діапазон зміни x на полі кореляції розбивають на рівні інтервали Δx . Всі точки, які потрапили в даний інтервал Δx_j , відносять до його середини x_j . Для цього розраховують часткові середні $\bar{y}_j$ для кожного інтервалу:

$$\bar{y}_j = \left(\sum_{i=1}^{n_j} y_{ji} \right) / n_j$$

Якщо нанести на кореляційному полі середні значення $\bar{y}_j$ (позначені на рис.6.7 а хрестиками), то лінія А–Б відповідатиме залежності $\bar{y} = a \cdot x + b$. Середня лінія кореляційного поля, для якої виконується умова найменших квадратів, називається лінією регресії.

Існує кореляції проста (прямолінійна і криволінійна) та множинна (дослідження зв'язку між багатьма величинами).

Найбільш розповсюдженою є прямолінійна кореляція. Лінію регресії $\bar{y} = ax + b$ розраховують з умови найменших квадратів. Значення постійних коефіцієнтів a і b , тобто коефіцієнтів рівняння регресії, обчислюють так:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \quad a = y - bx = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - b \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Критерієм близькості кореляційної залежності між x та y до лінійної функціональної залежності (тісністю лінійного зв'язку в кореляційному аналізі) є спеціальний відносний показник, який називають коефіцієнтом кореляції. Для генеральної сукупності його позначають ρ , але він, як правило, невідомий. Коефіцієнт кореляції, обчислений за вибірковими даними,

називають вибіркоvim коефіцієнтом кореляції (часто просто коефіцієнтом кореляції); його позначають r .

Значення коефіцієнту кореляції r належить відрізку $[-1; 1]$. Якщо $r = \pm 1$, то між випадковими величинами існує лінійний функціональний зв'язок, тобто кожному значенню x відповідає одне значення y . Якщо змінні незалежні, то $r = 0$, між величинами x і y лінійної кореляції немає і їх називають некорельованими. Однак може існувати нелінійна регресія. Додатний знак r вказує на прямий зв'язок між x і y (збільшення x призводить до збільшення y), а від'ємний – на обернений зв'язок (збільшення x призводить до зменшення y). Чим ближче коефіцієнт кореляції до одиниці, тим зв'язок між x і y тісніший. Звичайно вважають тісноту зв'язку задовільною при $r \geq 0,5$; гарною при $r = 0,8 - 0,85$.

Вибірковий коефіцієнт кореляції обчислюють за формулою:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \cdot \left(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)}} \quad (6.3)$$

Знаючи коефіцієнт кореляції r , можна визначити коефіцієнт регресії:

$$a = \frac{S_y}{S_x} \cdot r,$$

де S_x, S_y – вибіркові середні квадратичні відхилення, знайдені за ознаками x і y .

Маючи вибірковий коефіцієнт кореляції, ще не можна зробити висновок про достовірність кореляції між ознаками x і y . Щоб з'ясувати, чи справді випадкові величини x та y перебувають у кореляційному зв'язку, треба перевірити достовірність істотної відмінності коефіцієнта r від нуля. При цьому припускають, що випадкові величини x і y підпорядковані двомірному нормальному розподілу. Для перевірки обчислюють критерій Стюдента:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}},$$

де n – обсяг вибірки.

Обчислене за даною формулою значення критерію Стюдента порівнюють з табличним значенням ([див. табл.А.3 додатку](#)), знайденим при заданому рівні значущості і числі ступенів вільності $f = n - 2$.

Якщо $|t| \geq t_{\alpha, f}$, то змінні x та y вважаються залежними, між ними існує кореляційний зв'язок, інакше ці випадкові величини некорельовані.

Сучасне прикладне програмне забезпечення дає можливість визначати коефіцієнт кореляції з допомогою вбудованих функцій.

Контрольні запитання

1. Як класифікують фактори? Які з них слід обирати при проведенні однофакторних експериментів?
2. Назвіть основні вимоги, яким повинні відповідати фактори
3. Суть методу еквідистантних планів
4. Як вибрати інтервали між експериментальними даними при плануванні однофакторних експериментів?
5. Суть методу найменших квадратів.
6. З якою метою використовують метод вирівнювання?
7. Як визначити коефіцієнти, що входять в емпіричну формулу?
8. Що означає термін «функціональна залежність»?
9. Суть регресійного аналізу.
10. Суть кореляційного аналізу.
11. Які є види кореляції?
12. Що таке «коефіцієнт кореляції»? Які значення він може приймати?
13. Як перевірити достовірність кореляції між ознаками x та y ?

7. БАГАТОФАКТОРНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ

7.1. Планування багатофакторних експериментів

Традиційна методика планування багатофакторних експериментів полягає у стабілізації n незалежних змінних і почерговій зміні кожної з них в певних межах (N значень). В цьому випадку для отримання шуканої залежності треба виконати N^n різних експериментів.

Такий метод експериментування – пасивний, оскільки дослідник тільки фіксує фактори, що впливають на результат, не маючи можливості цілеспрямовано задавати їх. Варіювання змінних в такому методі є випадковим, а отримані залежності можуть використовуватися тільки в межах зміни незалежних факторів у експериментах. Інший недолік пасивного експерименту – велика кількість дослідів, які треба виконати навіть при відносно невеликій кількості незалежних змінних. Наприклад, при $n=3$ і $N=4$ треба виконати $4^3=64$ експерименти. Для отримання достовірних середніх результатів кожен експеримент слід повторити тричі, тому кількість експериментів збільшується в даному випадку до $64 \cdot 3=192$. Оскільки проведення великої кількості експериментів становить певні складнощі, дослідники вимушені штучно обмежувати кількість дослідів, що досягається завдяки вивченню впливу тільки суттєвих параметрів, зменшенню кількості експериментів при фіксації окремих параметрів тощо. В цьому випадку отримана емпірична залежність стає грубим наближенням до дійсного явища, а використання її на ділянці, де дослідження не проводилися, дає недостовірні результати. Внаслідок цього при великій кількості факторів, що впливають на результат, пасивний фізичний експеримент доцільно проводити тільки для виявлення фізичної сутності досліджуваного явища [11].

Ще один суттєвий недолік пасивного експерименту – неможливість проведення екстремальних досліджень для знаходження найкращих у певному смислі значень різних параметрів. Ці недоліки може усунути математична теорія планування експериментів. При використанні цієї теорії експеримент

проводиться по певному плану, який являє собою сукупність даних, що визначають кількість, умови і порядок реалізації експериментів. Планування експерименту – це створення його плану, який задовольняє заданим вимогам (мінімум кількості експериментів, мінімум похибки емпіричної залежності, пошук екстремуму функції), в тому числі і при неповній інформації щодо фізичної сутності досліджуваного явища.

Вибір плану експерименту залежить від мети дослідження, характеру вихідної функції і кількості суттєвих факторів.

При плануванні багатофакторних експериментів використовується математичне планування, застосовується різного роду *apriorна* інформація про природу досліджуваного явища і статистичні методи відсіювання малозначущих факторів. Всі досліджувані параметри в експерименті змінюються одночасно, але по певній, заздалегідь спланованій і математично обґрунтованій схемі. Особливо ефективні методи планування експериментів у тих випадках, коли об'єкти дослідження “погано організовані”, тобто має місце сумісний вплив декількох фізичних явищ і важко виділити вплив кожного з них на величину, яка цікавить. Математична теорія планування експериментів базується на основних положеннях математичної статистики. Вона може з успіхом використовуватися і в обчислювальних експериментах, особливо при використанні чисельних методів розв’язання.

Дійсний вид функції відгуку $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, яка є результатом багатофакторних експериментів, до експерименту найчастіше невідомий, тому для математичного опису поверхні відгуку використовують рівняння, яке представляє собою розкладання цієї функції у степеневий ряд:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{ij=1}^n \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (7.1)$$

де x_i, x_j – змінні фактори при $i=1, \dots, n, j=1, \dots, n, i \neq j$; $\beta_0, \dots, \beta_n$ – коефіцієнти регресії при відповідних змінних.

Рівняння (7.1) називають моделлю регресійного аналізу (регресійною моделлю, рівнянням регресії).

Рівняння регресії процесу, вихід якого залежить від двох факторів, матиме вигляд:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{112} x_1^2 x_2 + \beta_{122} x_1 x_2^2 + \dots$$

В регресійній моделі члени другого степеня $x_i x_j$; x_i^2 ; x_j^2 та інші характеризують кривизну поверхні відгуку. Чим більше кривизна цієї поверхні, тим більше в моделі членів вищих степенів, а значить, і коефіцієнтів регресії, які треба визначити. Це призводить до значного збільшення кількості дослідів, які необхідно провести для їх визначення.

Зазвичай спочатку припускають, що досліджуване явище описується лінійним поліномом. Для двохфакторного експерименту це рівняння матиме вигляд:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2.$$

У випадках, коли не можна обмежитися лінійним наближенням, при необхідності опису ширшої області додаються члени другого степеня (квадратична модель):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2.$$

Вибір функції відгуку, факторів та їх рівнів значною мірою визначається інформацією, яка є в дослідника до постановки експерименту. Отримана в експерименті регресійна модель повинна бути **адекватною**, тобто відповідати експериментальним даним по обраному критерію. Адекватність моделі перевіряється за допомогою статистичних методів.

7.2. Повний факторний експеримент

Серед методів планування експерименту найбільше розповсюдження отримав метод повного факторного експерименту (ПФЕ). Це експеримент, план якого містить всі можливі комбінації всіх факторів, які повторюються на кожному рівні однаково кількість разів. Найбільш широко застосовується планування на двох рівнях, в якому кількість реалізацій становить 2^n .

Знаходження регресійної моделі явища методом повного факторного експерименту включає в себе етапи:

1. Вибір основних факторів та інтервалів їх варіювання.
2. Складання плану експерименту.
3. Виконання експериментального дослідження.
4. Перевірка відтворюваності дослідних даних.
5. Отримання регресійної моделі явища і перевірка статистичної значущості коефіцієнтів регресії.
6. Перевірка адекватності отриманої регресійної моделі.

В якості факторів вибираються контрольовані і незалежні змінні, які найбільше впливають на шукану величину. Кожен фактор має певні межі зміни, всередині яких він приймає дискретні або безперервні значення. Сукупність всіх значень, які може приймати даний фактор, являє собою *область визначення фактора*. Із цих значень експериментатором вибирається інтервал зміни параметрів, в межах якого проводиться дослідження.

Для кожного фактора в даному експерименті вибирається умовний нульовий (основний) рівень, тобто такі значення змінних, в області яких починається вивчення процесу з метою отримання напрямку від вибраного умовного нульового рівня до оптимальних значень факторів. Побудова плану експерименту зводиться до вибору експериментальних точок, симетричних відносно основного рівня.

Для кожного фактора вибирається два рівні, на яких він буде варіюватися в експерименті: верхній і нижній. Якщо на координатній вісі зобразити точкою C_{i0} нульовий рівень, тоді верхній і нижній рівень зобразяться симетричними точками A, B, C, D (рис. 7.1).

Розмах вимірювання фактора – різниця між максимальним і мінімальним значеннями фактора в даному плані. *Інтервалом варіювання фактора* λ_i називають половину розмаху варіювання фактора. На

координатній осі інтервал – це відстань між основним і верхнім (або нижнім) рівнем. Додавання інтервалу до основного фактора дає верхній, а віднімання – нижній рівні фактора. Для спрощення розрахунків коефіцієнтів регресії масштаби по осях вибираються так, щоб основний рівень відповідав нулю, верхній – плюс одиниці, нижній – мінус одиниці. Умовно фактори, які мають натуральну розмірність, позначають C_i ($i=1\dots n$), а представлені у вигляді безрозмірного співвідношення – x_i . Для факторів, значення яких можуть змінюватися неперервно, це досягається кодуванням по формулі

$$x_i = (C_i - C_{i0}) / \lambda_i,$$

де x_i – кодоване значення фактора; C_i – його натуральне значення; C_{i0} – основний натуральний рівень фактора; λ_i – інтервал варіювання фактора в натуральних одиницях; i – номер фактора.

План повного двохфакторного експерименту можна записати в двох варіантах (табл.7.1):

Таблиця 7.1

План ПФЕ

в натуральній розмірності				в кодованих значеннях			
Номер досліджу	Фактор		Функція відгуку	Номер досліджу	Фактор		Функція відгуку
u	C_1	C_2	y_u	u	x_1	x_2	y_u
1	C_1^-	C_2^-	y_1	1	-1	-1	y_1
2	C_1^+	C_2^-	y_2	2	+1	-1	y_2
3	C_1^-	C_2^+	y_3	3	-1	+1	y_3
4	C_1^+	C_2^+	y_4	4	+1	+1	y_4

Таку таблицю називають матрицею планування. Кожен її стовпчик називають *вектор-стовпчиком*, а кожен рядок – *вектор-рядком*.

Графічно ці чотири досліди можна представити на площині в координатах C_1C_2 або x_1x_2 точками, які відповідають тому чи іншому досліду (рис.7.2).

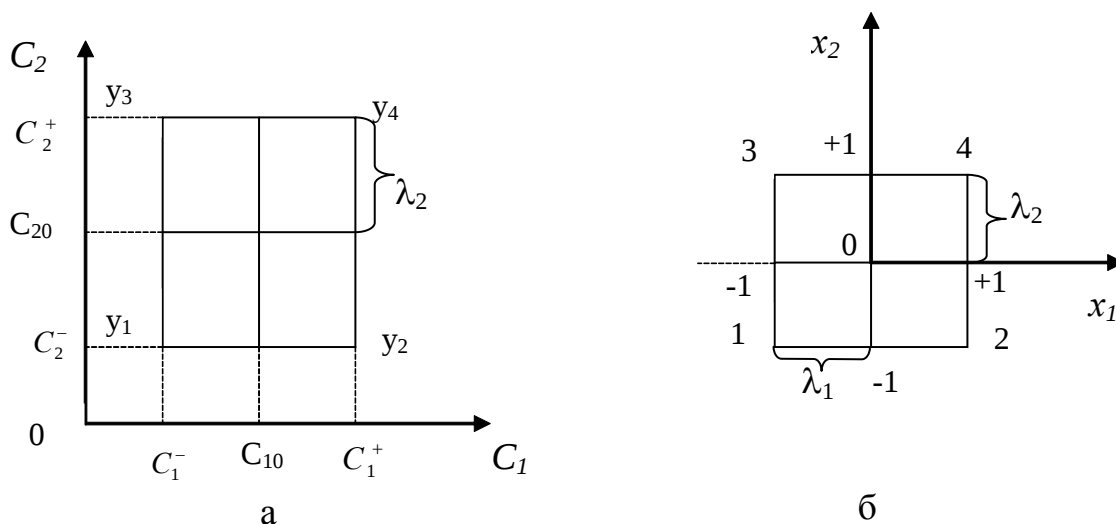


Рис.7.2. Графічна інтерпретація ПФЕ 2^2 для змінних, представлених в:
а – натуральних розмірностях; б – кодованих значеннях

Рівняння регресії для двох факторів, що враховує ефекти парних міжфакторних взаємодій, матиме вигляд:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2.$$

План ПФЕ 2^2 з урахуванням ефектів взаємодії факторів представлений в табл.7.2.

Таблиця 7.2

План ПФЕ 2^2

Номер дослідів, u	x_0	Кодовані змінні		x_1x_2	Функція відгуку y_u
		x_1	x_2		
1	+1	-1	-1	+1	y_1
2	+1	+1	-1	-1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	y_3
4	+1	+1	+1	+1	y_4
	Допоміжний стовпчик			Допоміжний стовпчик	

Буквою β прийнято позначати дійсні значення коефіцієнтів регресії. Однак при дослідженні форми поверхні відгуку можуть бути експериментальні похибки (внаслідок дії в системі неврахованих факторів, похибок вимірювань), тому на практиці знаходимо не y_u , а лише деяку його оцінку: $y_u \pm \Delta y_u$. Коефіцієнти регресії також визначаються з деякою помилкою. В результаті експерименту ми отримуємо не дійсні значення коефіцієнтів регресії β_i , а лише деякі їх оцінки b_i ($b_i \rightarrow \beta_i$).

Тоді рівняння регресії, отримане в результаті ПФЕ 2², повинно бути записане так:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2,$$

де замість дійсних значень β_i стоять їх експериментальні оцінки b_i .

Формули для розрахунку коефіцієнтів регресії можуть бути представлені в загальному вигляді:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_u}{N}; \quad b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} y_u}{N}, \quad (7.2)$$

де x_{iu} – значення змінної y у відповідному стовпчику плану експерименту ($x_{iu} = \pm 1$); y_u – результат u -го дослідження; N – загальна кількість дослідів; u – номер варіанта дослідження; i, j – номери факторів $i \neq j$.

Якщо ввести в таблицю планування стовпчик для фіктивної змінної $x_0=1$, то формула (7.2) може бути використана і для розрахунку значень коефіцієнта регресії b_0 , а відповідний стовпчик в табл.7.2 складатиметься тільки з +1. *Формули (7.2) можна застосовувати тільки для розрахунків коефіцієнтів регресії лінійного поліному.*

В плані ПФЕ 2² (табл.7.2) стовпчики x_1 та x_2 утворюють власне план експерименту, визначаючи рівні факторів у конкретних дослідженнях. Стовпчики ж x_0 та $x_1 x_2$ служать тільки для розрахунків коефіцієнтів регресії b_0 і b_{12} за рівняннями (7.2).

У науковій літературі прийнято значення $(+1)$ і (-1) для x_i замінювати відповідними знаками $(+)$ та $(-)$. Тому в подальшому будемо користуватися такими позначеннями.

По аналогії з повним факторним експериментом 2^2 можна дати геометричну інтерпретацію плану ПФЕ 2^3 . Він задається координатами вершин куба (рис.7.3).

Один із прийомів переходу від планів ПФЕ з меншою розмірністю до більшої заснований на правилі чергування знаків: в першому стовпчику знаки стоять по чергово, в другому – через два, в третьому – через чотири, в четвертому – через вісім і т.д. (табл. 7.3).

Поява третього стовпчика x_3 в плані ПФЕ 2^3 призводить до утворення чотирьох допоміжних стовпчиків $(x_1x_2, x_2x_3, x_1x_3, x_1x_2x_3)$. По результатах поставленого по цьому плану експерименту можна розрахувати вісім коефіцієнтів рівняння регресії

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

Таблиця 7.3

Робочий план ПФЕ 2^3

Номер дослід у	x_1	x_2	x_3
1	–	–	–
2	+	–	–
3	–	+	–
4	+	+	–
5	–	–	+
6	+	–	+
7	–	+	+
8	+	+	+

Статистичний аналіз значущості коефіцієнтів рівняння регресії

Визначення виходу процесу y_u і забезпечення заданого рівня факторів здійснюється неточно, з певною помилкою, тому і коефіцієнти рівняння регресії також будуть визначені з помилкою.

Статистичний аналіз рівняння регресії із наперед заданою імовірністю α встановлює, суттєво чи ні впливає даний фактор на процес. Якщо отримана абсолютна величина коефіцієнта рівняння регресії b_i більше похибки у його визначенні (тоді вона значно відрізняється від нуля), то такий фактор впливає на процес. Якщо цього впливу немає, то значення b_i буде незначно відрізнятися від нуля, тобто зміна виходу процесу y_u при зміні рівня відповідного фактора буде співрозмірна похибці його визначення. Такий фактор із рівняння регресії треба видаляти.

Щоб оцінити значущість коефіцієнтів регресії, треба знайти їх вибірккову дисперсію $S_{(b_i)}^2$. При цьому можливі два варіанти.

Перший варіант. Кожний дослід в плані факторного експерименту ставився в кількох повторностях (від 3 до 5), і їх кількість m в кожному досліді однакова.

Для визначення $S_{(b_i)}^2$ треба розрахувати $\bar{y}_u = \frac{\sum_{k=1}^m y_{ku}}{m}$ і визначити:

1. Відрядкові дисперсії відтворюваності одиничного результату:

$$S_{y_{ku}}^2 = \frac{\sum_{k=1}^m (y_{ku} - \bar{y}_u)^2}{m-1},$$

де k – номер повторності у кожному рядку; u – номер рядка в плані експерименту.

2. Середню (середньоарифметичну) для всього експерименту

дисперсію відтворюваності одиничного результату $S_{y_k}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_{y_{ku}}^2}{N}$

3. Середню для всього експерименту дисперсію відтворюваності

$$S_{\bar{y}}^2 = \frac{S_{y_k}^2}{m}.$$

середнього значення виходу процесу

Дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії

$$S_{(b_i)}^2 = \frac{S_{\bar{y}}^2}{N} \quad (7.3)$$

Другий варіант. При проведенні експерименту не завжди буває можливість поставити кілька (m) повторностей в кожному досліді. Тоді доводиться розраховувати коефіцієнти регресії по одному визначенню. Якщо в експерименті кожний варіант мав тільки одну повторність ($m=1$), то для визначення $S_{(\bar{y})}^2$ доводиться попередньо ставити спеціальну серію дослідів (не менше 10). Така серія дослідів може бути, наприклад, поставлена як один з варіантів у плані факторного експерименту (можна на нульовому рівні). Якщо поставлено m дослідів і отримано m результатів ($k=1, 2, \dots, m$), то дисперсія відтворюваності середнього значення виходу процесу розраховується за формулою:

$$S_{\bar{y}}^2 = \frac{\sum_{k=1}^m y_k^2 - \frac{\left(\sum_{k=1}^m y_k\right)^2}{m}}{m-1},$$

де $\sum_{k=1}^m y_k^2$ – сума квадратів всіх m результатів поставленої серії дослідів;

$\left(\sum_{k=1}^m y_k\right)^2$ – квадрат суми всіх m результатів поставленої серії дослідів; k – номер повторності в поставленій серії дослідів.

Аналогічно першому варіанту дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії визначається за формулою (7.3).

В результаті проведених розрахунків отримані величини коефіцієнтів регресії b_i та їх дисперсія $S_{(b_i)}^2$. Коефіцієнти регресії b_i можна вважати відмінними від нуля (тобто значущими), якщо виконується нерівність:

$$|b_i| > t \sqrt{S_{(b_i)}^2}, \quad (7.4)$$

де t – критерій Стюдента. Значення критерію Стюдента залежно від прийнятого рівня значущості q ($q=1-\alpha$) і кількості ступенів вільності f при визначенні середньої дисперсії відтворюваності одиничного вимірювання ($f=(m-1) \cdot N$) наведені в [табл. А.3 додатку](#).

Смисл нерівності (7.4) полягає в тому, що абсолютна величина b_i повинна бути в t разів більше, ніж похибка його визначення. Прийнятий рівень значущості характеризує ступінь достовірності висновків, зроблених на основі нерівності (7.4). Так, якщо ми приймаємо достатній 5% рівень значущості (при довірчій імовірності $\alpha=0.95$), то припущення про відмінність розрахованого значення b_i від нуля буде справедливим з імовірністю 95%.

Коефіцієнти, які незначно відрізняються від нуля, з рівняння регресії виключаються.

Перевірка адекватності рівняння регресії

Отримане в результаті факторного експерименту рівняння регресії пов'язує рівні факторів із виходом процесу на ділянці поверхні відгуку, що вивчається. Воно дозволяє визначити без додаткової постановки експериментів величини виходу процесу всередині досліджуваної ділянки поверхні відгуку шляхом інтерполяції.

Попередньо треба пересвідчитися, що отримане рівняння регресії адекватно описує процес, який вивчається, тобто що ступінь відтворюваності процесу відповідає ступені адекватності рівняння процесу. Така перевірка здійснюється по F -критерію, або критерію Фішера ([табл. А.4 додатку](#)), для чого проводяться такі розрахунки:

1. Розраховують вихід $\hat{y}_u$ для кожного варіанту дослідів по рівнянню регресії, з якого виключені незначущі члени. Для цього в регресійну модель треба підставити значення x_i (+1) або (-1) для кожного рядка.

2. Розраховують дисперсію адекватності $S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\hat{y}_u - \bar{y})^2}{N - N'}$, де N' – кількість значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії.

3. Розраховують критерій Фішера: $F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_{(y)}^2}$.

Критерій Фішера завжди більше одиниці. Тому у наведеній вище залежності в чисельник поставлена дисперсія адекватності умовно. В чисельнику цього дробу завжди повинна стояти більша дисперсія, а у знаменнику – менша.

4. Порівнюють отримане розрахункове значення критерію Фішера F_p з його табличним значенням F_m ([табл. А.4 додатку](#)). В таблицях критерій Фішера наведений залежно від кількості ступенів вільності $f_1 = N - N'$ при визначенні дисперсії адекватності та $f_2 = (m - 1) \cdot N$ при визначенні середньої дисперсії відтворюваності одиничного вимірювання S_{yk}^2 .

Якщо виконується нерівність $F_p < F_m$, робиться висновок про адекватність отриманого рівняння регресії процесу, що досліджується. Якщо експериментальні дані не узгоджуються з лінійною моделлю (рівняння не адекватне), то досліджуваний процес намагаються описати поверхнею другого порядку. Для цього до вже реалізованого плану лінійного полінома (див. рис. 7.2) додають дослідів у проміжних “зоряних” точках в центрі плану [39]. Отриману при цьому “композицію” використовують для математичного опису процесу у вигляді багаточлена другого степеня:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2.$$

7.3. Дробовий факторний експеримент

При великій кількості факторів ($n > 5$) проведення експерименту по планам ПФЕ стає дуже складним. В таких випадках з метою зменшення об'єму експериментальних робіт для математичного опису процесу можна використовувати певну частину повного факторного експерименту: $1/2$, $1/4$ і т.д. Метод, при якому для математичного опису процесу використовують певну частину ПФЕ, називають *дробовим факторним експериментом* (ДФЕ) або дробовими репліками. ДФЕ дозволяє отримати рівняння регресії при значному скороченні кількості необхідних дослідів, причому в багатьох випадках у рівнянні регресії можуть бути враховані й ефекти взаємодії нижчих порядків. Так, щоб знайти коефіцієнти регресії рівняння $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$, треба провести 8 дослідів відповідно матриці повного трьохфакторного експерименту. Однак їх можна знайти і при зменшенні кількості дослідів до чотирьох, реалізувати половину матриці, оскільки план трьохфакторного експерименту представляється у формі куба, параметри якого повністю визначені, якщо зафіксована діагональна площина і вершини куба, що лежать на ній (див. рис.7.3). В цьому випадку основу матриці складає матриця двохфакторного експерименту, а варіювання третього фактора відповідає добутку x_1x_2 . Таке перетворення допустиме, якщо коефіцієнт регресії b_{12} незначний або дорівнює нулю, інакше визначають суму коефіцієнтів регресії $b_{12} + b_3$.

При постановці ДФЕ припускають, що коефіцієнти регресії при взаємодіях вищих порядків (потрійних, четвертих) незначно відрізняються від нуля. Таке припущення справедливе, якщо прийняти до уваги, що експеримент ставиться на досить вузькій ділянці поверхні відгуку, яку з деякою похибкою можна представити площиною (лінійне наближення), або, в крайньому випадку, поверхнею другого порядку. Тоді стає можливим використовувати в плані ПФЕ стовпчики, які відносяться до взаємодій вищих порядків, для оцінки додаткових лінійних ефектів. Наприклад, в плані ПФЕ 2^3 можна використовувати стовпчик, який відповідає потрійній взаємодії $x_1x_2x_3$

для включення в експеримент деякого фактора x_4 . Отриманий таким способом план являтиме собою так звану напіврепліку від ПФЕ 2^4 , оскільки замість 16 дослідів, необхідних для вивчення впливу чотирьох факторів по плану ПФЕ, треба поставити тільки 8. Ця напіврепліка позначається як ДФЕ 2^{4-1} , план її представлений в табл. 7.4.

Таблиця 7.4

План ДФЕ 2^{4-1}

Номер дослідів u	x_1	x_2	x_3	$x_4 = x_1x_2x_3$
1	–	–	–	–
2	+	–	–	+
3	–	+	–	+
4	+	+	–	–
5	–	–	+	+
6	+	–	+	–
7	–	+	+	–
8	+	+	+	+

Якщо додатковим виявиться один фактор, то позначається такий план ДФЕ 2^{n-1} і називається напівреплікою. Якщо вводиться два додаткових фактори, то план ДФЕ 2^{n-2} називається чвертьреплікою, якщо три – однією восьмою репліки і т.д. Кількість дослідів ДФЕ $2^{n-n'}$ дорівнює $N = 2^{n-n'}$, де n' – кількість додаткових факторів.

Складемо план ДФЕ 2^{4-1} , використавши розрахунковий стовпчик плану ПФЕ 2^3 для оцінки лінійного ефекту четвертого фактора (x_4), причому до отриманих чотирьох стовпчиків допишемо розрахункові стовпчики всіх можливих взаємодій включно до потрійних (табл.7.5).

Провівши 8 дослідів, можна розрахувати 7 коефіцієнтів рівняння, тобто до лінійних можна додати 3 члени, які характеризують парні міжфакторні

взаємодії, але відповідні коефіцієнти будуть лише змішаними експериментальними оцінками ефектів двох різних міжфакторних взаємодій.

Таблиця 7.5

План ДФЕ 2^{4-1}

u	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₁ x ₄	x ₂ x ₃	x ₂ x ₄	x ₃ x ₄	x ₁ x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₄	x ₁ x ₃ x ₄	x ₂ x ₃ x ₄
1	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–
2	+	–	–	+	–	–	+	+	–	–	+	–	–	+
3	–	+	–	+	–	+	–	–	+	–	+	–	+	–
4	+	+	–	–	+	–	–	–	–	+	–	–	+	+
5	–	–	+	+	+	–	–	–	–	+	+	+	–	–
6	+	–	+	–	–	+	–	–	+	–	–	+	–	+
7	–	+	+	–	–	–	+	+	–	–	–	+	+	–
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Отримані коефіцієнти b_i та b_{ij} будуть справжніми експериментальними оцінками відповідних ефектів лише тоді, коли супутній ефект відсутній (буде незначно відрізнятися від нуля). Від того, який зі стовпчиків взаємодій вищих порядків буде взятий для оцінки лінійного ефекту додаткового фактора, залежать умови змішування всіх оцінок. Дослідник, складаючи план ДФЕ, повинен проаналізувати умови змішування, щоб максимально можливо розділити оцінки ефектів, які його цікавлять.

Для цього можна користуватися методом, який складається з таких етапів [11]:

1. Вибирають, який стовпчик буде використаний для отримання лінійної оцінки додаткового фактора. В нашому прикладі $x_4 = x_1x_2x_3$. Ця рівність називається *генеруючим співвідношенням*. Вибір генеруючих співвідношень довільний, однак повторення неприпустиме.

2. Розраховують так званий *визначальний контраст*, щоб з'ясувати з яким ефектом змішаний будь-який ефект, що нас цікавить, у вибраному плані

ДФЕ. Для цього домножують обидві частини генеруючого співвідношення на рівень додаткового фактора x_i . В нашому прикладі, помножуючи обидві частини цієї рівності на x_4 , отримаємо $x_4^2 = x_1x_2x_3x_4$. Оскільки $x_i^2 = 1$ при $x_i = \pm 1$, отримана рівність, яка називається визначальним контрастом, матиме вигляд $I = x_1x_2x_3x_4$.

3. Визначають умови змішування оцінок. Для цього домножують обидві частини рівності визначального контрасту на фактор або взаємодію факторів, які цікавлять. Для даного приклада умови змішування такі:

$$\begin{array}{ll}
 x_1 = x_1^2 x_2 x_3 x_4 = x_2 x_3 x_4 & b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{234} \\
 x_2 = x_1 x_2^2 x_3 x_4 = x_1 x_3 x_4 & b_2 \rightarrow \beta_2 + \beta_{134} \\
 x_3 = x_1 x_2 x_3^2 x_4 = x_1 x_2 x_4 & b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{124} \\
 x_4 = x_1 x_2 x_3 x_4^2 = x_1 x_2 x_3 & b_4 \rightarrow \beta_4 + \beta_{123} \\
 x_1 x_2 = x_1^2 x_2^2 x_3 x_4 = x_3 x_4 & b_{12} \rightarrow \beta_{12} + \beta_{34} \\
 x_1 x_3 = x_1^2 x_2 x_3^2 x_4 = x_2 x_4 & b_{13} \rightarrow \beta_{13} + \beta_{24} \\
 x_1 x_4 = x_1^2 x_2 x_3 x_4^2 = x_2 x_3 & b_{14} \rightarrow \beta_{41} + \beta_{23}
 \end{array}$$

Тобто найточніше будуть визначені коефіцієнти при x_1 , x_2 , x_3 та x_4 .

При складанні планів більшої дробовості, ніж напіврепліка, доводиться вибирати кілька генеруючих співвідношень. В результаті складається кілька варіантів плану. При виборі найкращого з них треба заздалегідь визначити небажаність змішування будь-яких ефектів у одній оцінці і з цих позицій оцінювати отриманий варіант плану.

Розрахунок коефіцієнтів регресії, перевірка їх значущості та адекватності рівняння регресії здійснюється так само, як і при обробці результатів повного факторного експерименту.

Дробовий факторний експеримент має певні недоліки, пов'язані з виключенням із розгляду деяких взаємодій факторів. Навіть у практично відомих явищах експериментатору складно заздалегідь достовірно стверджувати про відсутність взаємодії факторів. Тому використання

дробового експерименту, особливо великої дробовості, потребує дуже обережного і обґрунтованого підходу.

Для планування фізичного експерименту також може бути використаний метод Зейделя–Гаусса, завершенням якого є багатофакторна кореляційна залежність на основі отриманої функції Протодіяконова [40, 41].

7.4. Знаходження коефіцієнтів багатофакторних залежностей методом найменших квадратів

Визначити чисельні значення його коефіцієнтів $c_1 \dots c_m$, по аналогії з правилами обробки однофакторних експериментів, можна також методом найменших квадратів ([посилання на пункт 6.3](#)).

Методом вирівнювання отриману залежність перетворюють на лінійну, отримуючи систему рівнянь, кількість яких дорівнює кількості проведених серій дослідів.

Щоб розв'язати цю систему за методом найменших квадратів, складають нову систему рівнянь, кількість яких дорівнює кількості невідомих, і які потім вирішуються за звичайними правилами алгебри. Ці нові, або так звані нормальні, рівняння складаються за наступним правилом: множать спершу всі дані рівняння на коефіцієнти біля першого невідомого x_1 , склавши почленно, отримують перше нормальне рівняння, множать всі дані рівняння на коефіцієнти біля другого невідомого x_2 , склавши почленно, отримують друге нормальне рівняння і т. д. Якщо позначити:

$$\begin{cases} [aa] = a_1 a_1 + a_2 a_2 + \dots \\ [ab] = a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots \\ [ac] = a_1 c_1 + a_2 c_2 + \dots \\ \dots \\ [ba] = b_1 a_1 + b_2 a_2 + \dots \\ [bb] = b_1 b_1 + b_2 b_2 + \dots \\ [bc] = b_1 c_1 + b_2 c_2 + \dots \\ \dots \end{cases} \quad (7.5)$$

то нормальні рівняння представляться в наступному простому вигляді

$$\begin{cases} [aa]x + [ab]y + [ac]z + \dots + [an] = 0 \\ [ba]x + [bb]y + [bc]z + \dots + [bn] = 0 \\ [ca]x + [cb]y + [cc]z + \dots + [cn] = 0 \\ \dots \end{cases}$$

Вирішивши отриману систему рівнянь, знаходять чисельні значення невідомих коефіцієнтів.

Приклад.

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що критеріальне рівняння, яке визначає витрати потужності в теплообміннику змішування, має вигляд:

$$K_n = c \cdot \text{Re}^m \cdot \text{He}^k,$$

де K_n – критерій потужності, Re, He – критерій Рейнольдса і Хедстрема відповідно; c, m, k – невідомі емпіричні коефіцієнти.

Розрахункові значення критеріїв рівняння:

Re	He	$K_n \cdot 10^{-5}$
0,76	2,6	120
0,8	2,8	57
1,1	3,4	50
1,06	3,2	32
1,36	3,9	22

Визначити значення коефіцієнта C та показників степені m та k .

Розв'язання.

Прологарифмуємо отримане критеріальне рівняння і виконаємо подальші математичні перетворення для перетворення початкового рівняння на лінійне:

$$\ln K_n = \ln(c \cdot \text{Re}^m \cdot \text{He}^k),$$

$$\ln K_n = \ln c + \ln \text{Re}^m + \ln \text{He}^k,$$

$$\ln K_n = \ln c + m \cdot \ln \text{Re} + k \cdot \ln \text{He}.$$

Позначивши $C=\ln(c)$, $X=\ln Re$; $Y=\ln He$; $Z=\ln K_n$ маємо змогу записати рівняння в загальному вигляді:

$$Z = C + m \cdot X + k \cdot Y.$$

Використовуючи його, записуємо систему рівнянь, прологарифмувавши початкові дані:

$$\begin{cases} (-0,27)m + 0,96k + C = 16,30 \\ (-0,22)m + 1,03k + C = 15,55 \\ 0,09m + 1,22k + C = 15,43 \\ 0,06m + 1,16k + C = 14,98 \\ 0,31m + 1,36k + C = 14,60 \end{cases}$$

Щоб розв'язати цю систему за методом найменших квадратів, попередньо за формулами 7.5 визначаємо значення коефіцієнтів $[aa]$, $[ab]$ і т.д.:

$$[aa] = (-0,27) \cdot (-0,27) + (-0,22) \cdot (-0,22) + 0,09 \cdot 0,09 + 0,06 \cdot 0,06 + 0,31 \cdot 0,31 = 0,23$$

$$[ab] = (-0,27) \cdot 0,96 + (-0,22) \cdot 1,03 + 0,09 \cdot 1,22 + 0,06 \cdot 1,16 + 0,31 \cdot 1,36 = 0,11$$

....

В результаті отримаємо систему трьох рівнянь з трьома невідомими:

$$\begin{cases} 0,23m + 0,11k - 0,065C = -1,94 \\ -0,065m + 5,73k + C = 76,70 \\ 0,08m + 5,27k + 5,73C = 87,6 \end{cases}$$

Вирішивши її, маємо $m=-11,7$; $k=12,6$ та $C=3,88$.

З урахуванням, що $c = e^C = 47,9$ $C = e^e$, запишемо критеріальне рівняння для визначення витрат потужності:

$$K_n = 47,9 \cdot Re^{-11,7} \cdot He^{12,6}.$$

Контрольні запитання

- 1. Мета математичного планування експерименту.*
- 2. Переваги математичного планування експерименту.*
- 3. Поняття «рівняння регресії».*
- 4. З яких етапів складається планування експерименту про проведенні повного факторного експерименту?*
- 5. Що таке натуральні і кодовані значення факторів?*
- 6. Мета кодування факторів.*
- 7. Як складається матриця планування для натуральних і кодованих значень факторів при повному факторному експерименті?*
- 8. Методика обчислення коефіцієнтів рівняння регресії.*
- 9. Як здійснюється перевірка значущості коефіцієнтів рівняння регресії?*
- 10. Як здійснюється перевірка адекватності отриманої регресійної моделі?*
- 11. Що слід робити, якщо рівняння регресії виявилось неадекватним?*
- 12. Що таке «дробовий факторний експеримент»?*
- 13. Як складається матриця планування при дробовому факторному експерименті?*
- 14. Поясніть термін «генеруюче співвідношення».*
- 15. В чому полягає особливість використання методу найменших квадратів для знаходження коефіцієнтів емпіричного рівняння, отриманого в ході проведення багатфакторного експерименту?*

8. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ ОБЛАДНАННЯ

8.1. Параметри оптимізації технологічного процесу

Оптимізація будь-якої задачі можлива, якщо існує декілька рішень і кожне рішення оцінюється яким-небудь об'єктивним критерієм.

При плануванні екстремального експерименту важливо вибрати параметр оптимізації, тобто той показник процесу, при якому явище або процес проходитиме найбільш ефективно. Суттєву роль у цьому виборі відіграє рівень апіорних відомостей про об'єкт дослідження. При дослідженні технологічних процесів в якості вихідних параметрів розглядаються: продуктивність та ККД обладнання, показники якості продукції, її собівартість або основні витрати палива та сировини. Важливе значення має також економічний параметр оптимізації. Для багатьох технологічних процесів характерне застосування дорогих матеріалів та сировини. Тому при оптимізації таких процесів доводиться прагнути не тільки максимального виходу, але й мінімальних витрат.

Реальні ситуації завжди складні, вони вимагають одночасного урахування кількох параметрів. Але рух до оптимуму можливий, якщо вибраний один-єдиний параметр оптимізації. При цьому інші характеристики процесу вже служать обмеженнями. Інший шлях – це побудова узагальненого параметру оптимізації як деякої функції від великої кількості вихідних.

Параметр оптимізації повинен бути: ефективним з точки зору досягнення мети; універсальним; кількісним і виражатися одним числом; мати фізичний смисл, просто і легко розраховуватися; існувати для всіх різних станів процесу.

8.2. Оптимізація в однофакторних експериментах

З геометричної точки зору вирішення задачі оптимізації полягає у досягненні найвищої (або найнижчої) точки поверхні відгуку, що відповідає знаходженню максимуму (або мінімуму) функції $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ по всім

змінним. Якщо вид цієї функції відомий, екстремум функції можна визначити аналітично. Однак при оптимізації технологічних процесів дослідник вимушений вирішувати задачу оптимізації експериментально. Хід вирішення такої задачі можна представити як маршрут, по якому рухається дослідник із деякої початкової точки в точку максимуму (мінімуму).

Вирішувати задачі оптимізації можна аналітичними, чисельними методами або методами програмування [42].

Методи оптимального планування експерименту дозволяють використовувати математичний апарат не тільки на стадії обробки результатів вимірювань, але також при підготовці і проведенні дослідів. Зокрема, вибір плану екстремального експерименту здійснюється з урахуванням критерію його ефективності.

Ефективністю E плану експерименту називають співвідношення початкового діапазону вхідної змінної і знайденого в результаті експерименту його оптимального діапазону. Експеримент тим ефективніший, чим за меншої кількості експериментів вдається досягти заданого E [33].

Найрозповсюдженішими способами планування експериментів для побудови моделі у випадку *одного значущого фактора* є метод еквідистантних планів ([посилання на пункт 6.](#)), метод послідовної дихотомії і метод чисел Фібоначчі.

Ефективність E *еквідистантного* плану:

$$E = \frac{(b-a)}{\Delta x_N} = N-1,$$

де Δx_N – ширина інтервалу варіювання фактора.

Під час планування експерименту методом *послідовної дихотомії* початковий інтервал зміни фактора x розбивають навпіл і перші два експерименти проводять у близькому довір'ї (по обох боках) центра інтервалу:

$$x_1 = \frac{(a+b)}{2} + \varepsilon; \quad x_2 = \frac{(a+b)}{2} - \varepsilon,$$

де $\varepsilon \ll (b-a)$.

Значення цільових функцій $y_1 = f(x_1)$ та $y_2 = f(x_2)$ порівнюються, і для подальшої оптимізації залишають або інтервал $[a; (a+b)/2]$, або $[(a+b)/2; b]$, в залежності від того, в якому інтервалі лежить краще значення цільової функції $y = f(x)$. Новий робочий інтервал знову ділять навпіл і т.д. Експеримент продовжують доти, поки не знаходять потрібний Δx_N . Ефективність цього методу становить $E = 2^{N/2}$.

Метод **чисел Фібоначчі** базується на використанні ряду чисел Фібоначчі: $F_0 = F_1 = 1; F_k = F_{k-1} + F_{k-2}; k > 1$. Планування експерименту здійснюється так. Спочатку обирається кількість експериментів N на основі співвідношення $E = F_N$. Далі визначають координати експериментальних точок: $x_1 = b - (b-a) \cdot q_1$; $x_2 = a + (b-a) \cdot q_2$; $x_i = a_i + (b_i - a_i) \cdot q_i$ для $i \geq 3$. Величини $q_1 = q_2 = F_{N-2} / F_N$; $q_i = F_{N-i} / F_{N-i+2}$ для $i \geq 3$. Значення a_i та b_i визначають за результатами порівняння значень цільової функції $y = f(x)$, отриманих експериментально. Це найскладніший, але і найефективніший план експерименту серед розглянутих. Для звуження початкового інтервалу зміни фактора в 10 разів за методом еквідистантних планів треба провести 11 експериментів, послідовної дихотомії – 8, чисел Фібоначчі – 6.

8.3. Способи вирішення задач оптимізації в багатofакторних експериментах

8.3.1. Метод Зейделя – Гауса

Він передбачає послідовне варіювання кожного з вибраних факторів. При цьому досягають оптимуму по одному фактору, потім при його фіксованому значенні знаходять оптимум по іншим змінним. Рух до екстремуму M при використанні цього методу для двохфакторного експерименту показано на рис.8.1.

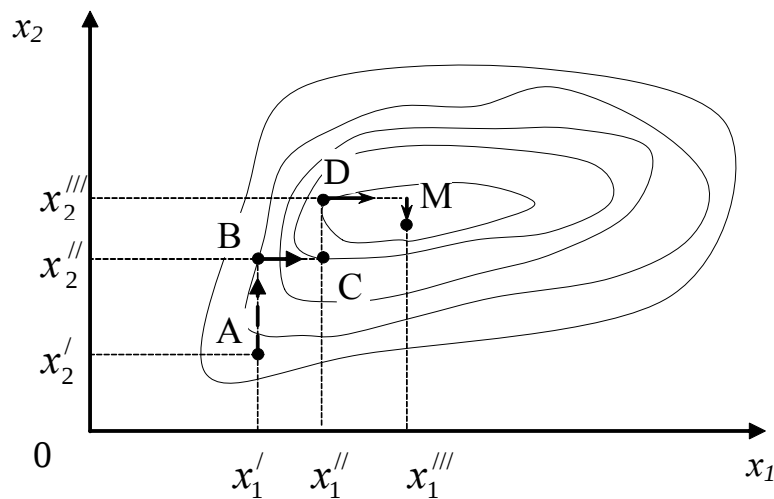


Рис.8.1. Графічна ілюстрація методу Зейделя – Гауса

Якщо в якості початкової взята точка A , то при фіксованому значенні x_1 рухаються з деяким постійним кроком, змінюючи змінну x_2 доти, поки буде досягнутий частковий максимум в точці B . Потім, фіксуючи x_2 на рівні, який відповідає знайденому максимуму в точці B , рухаються з деяким новим кроком, змінюючи x_1 , до досягнення нового часткового максимуму в точці C . Після цього змінна x_1 знову фіксується, і рух із меншим кроком проводиться в напрямку x_2 до часткового максимуму в точці D і т.д.

Таким чином, багаторазово варіюючи кожний фактор при фіксованому значенні другого (або всіх інших при більшій кількості факторів), досягають оптимальної області. Однак оптимізація по Зейделю – Гаусу має ряд недоліків:

- 1) довгий шлях до оптимуму (особливо, якщо багато факторів);
- 2) громіздка система рівнянь, яка представляє результати дослідів в аналітичній формі;
- 3) принципова неможливість дослідження взаємодії факторів, що може мати велике значення в технологічних процесах.

Крім того, “оптимальні” умови, знайдені по методу Зейделя – Гауса, в дійсності можуть виявитися не найкращими через деякі особливості поверхні відгуку.

8.3.2. Метод крутого сходження (метод Бокса – Уілсона)

Дослідження із застосуванням математичних методів планування (метод випадкового балансу, метод Бокса – Уілсона) з успіхом використовуються для оптимізації різних технологічних процесів. Основною їх перевагою, порівняно з класичними методами, є можливість одночасного вивчення великої кількості факторів, які діють в системі. При цьому враховується взаємодія факторів між собою і є можливість оцінити ефекти взаємодії. Також значно скорочується час та витрати при більшій вірогідності досягти дійсного оптимуму.

При оптимізації багатфакторних систем з наявністю в них істотних міжфакторних взаємодій першим етапом повинен бути відбір суттєвих факторів. Це може бути вирішено плануванням експерименту по методу випадкового балансу. Для знаходження найкращої комбінації відібраних суттєвих факторів ефективним є метод крутого сходження, який являє собою факторний експеримент з наступним рухом по [градієнту](#) [43].

Для знаходження оптимуму використовують скорочену схему дослідження. Це можливо тільки в тому випадку, якщо щодо поверхні відгуку до початку експерименту прийняти певні припущення, головними з яких є неперервність поверхні відгуку і наявність тільки одного екстремуму.

Якщо знатимемо значення параметрів оптимізації в декількох сусідніх точках факторного простору, то зможемо (завдяки гладкості і неперервності функції відгуку) уявити собі результати, які можна очікувати в інших сусідніх точках. Значить, можна знайти такі точки, для яких очікується найбільше збільшення (або зменшення, якщо ми шукаємо мінімум) параметру оптимізації. Наступний експеримент треба переносити саме в ці точки, рухаючись в потрібному напрямку. Зробивши новий експеримент, знову можна оцінити напрямок, в якому найдоцільніше рухатися. Оскільки максимум єдиний, він врешті-решт буде досягнутий. Такий принцип знаходження оптимуму називається покроковим [11].

Метод крутого сходження для знаходження оптимальних умов найчастіше застосовують в тому випадку, коли опис процесу здійснений лінійним рівнянням. Сутність цього методу полягає в тому, що на основі аналізу рівняння регресії складаються умови серії дослідів з різними значеннями факторів, причому кожна наступна зміна значень факторів забезпечує, у відповідності з рівнянням регресії, підвищення ефективності процесу, що проявляється у збільшенні виходу процесу (або зниженні витрат) у.

Експериментальне дослідження із застосуванням математичних методів планування проводиться у певному порядку (рис.8.2):

1. Досліджується частина поверхні відгуку, тобто проводиться серія дослідів для отримання опису поверхні відгуку навколо вихідної точки експерименту – A .

2. По знайденим коефіцієнтам регресії визначається напрямок руху в бік найбільш різкої зміни функції (до деякої точки часткового екстремуму – B).

3. В області точки B ставиться нова серія дослідів, по результатам якої з'ясовується, чи є точка B екстремумом. Якщо необхідно, то аналогічним способом здійснюється рух в сторону найбільшої зміни виходу процесу до точки C , яка відповідає новому екстремуму.

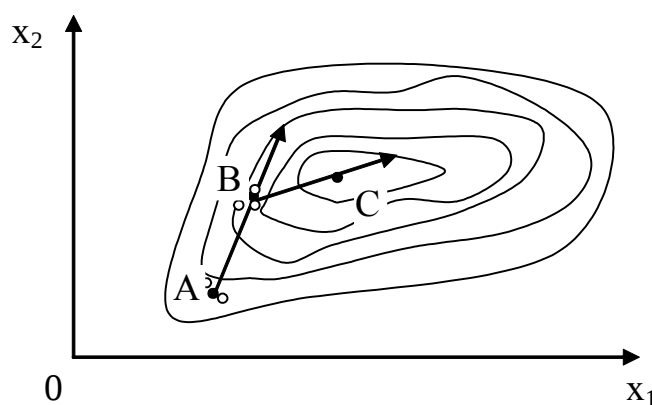


Рис.8.2. Оптимізація по методу Бокса – Уїлсона.

Якщо від досліду до досліду спостерігається підвищення (або зменшення при пошуку мінімуму) величини виходу процесу, яка в певному,

не останньому, досліді досягає екстремального значення, робиться припущення про досягнення зони оптимуму.

Для перевірки цього припущення ставиться новий факторний експеримент. За центр його плану приймається дослід з найкращим виходом процесу. В результаті реалізації експерименту отримуємо рівняння регресії. Якщо виявиться, що його коефіцієнти незначущі, то зону можна вважати оптимальною. Якщо якийсь коефіцієнт значущий, треба скоректувати відповідно отримане оптимальне співвідношення, намітивши наступну програму крутого сходження по заново розрахованому градієнту.

8.3.3. Симплекс-планування

Пошук оптимуму може бути здійснений методом, в якому кількість експериментів і всі розрахунки зведено до мінімуму. Сутність цього методу полягає у плануванні експерименту таким чином, щоб точки, координати яких відповідають певним сполученням значень факторів, лежали у вершинах правильного симплексу, побудованого у факторному просторі.

Правильним *симплексом* є множина $n+1$ незалежних точок, які утворюють опуклу фігуру (багатогранник) у n -мірному просторі. У двохмірному просторі (на площині) це трикутник, в трьохмірному – правильний тетраедр. Розглянемо як найбільш наочний варіант метод симплекс-планування при пошуку оптимуму для двох факторів x_1 та x_2 . Графічно такий симплекс у вигляді правильного трикутника представлений на рис.8.3.

Будувати цей трикутник при проведенні першого експерименту доцільно так, щоб одна з його вершин знаходилася в умовно вибраній нульовій точці, координати якої $x_1=x_2=0$ (ця точка аналогічна умовному нульовому рівню плану повного факторного експерименту). Значення факторів при визначенні координат точок доцільно виражати в умовних одиницях, а в якості фундаментального параметру планування брати сторону симплексу. При цьому інтервали варіювання, у відповідності з геометрією симплексу, можуть

приймати різні значення. Для правильного трикутника вони пропорційні числам 1, 0; 0,86; 0,5.

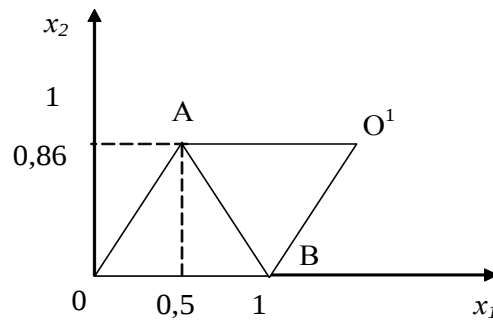


Рис.8.3. Симплекс-планування

Для визначення координат точки наступного кроку в пошуку оптимуму метод симплекс-планування передбачає дуже простий прийом, який полягає у побудові нового симплексу на тій грані попереднього симплексу, яка протистоїть точці найгіршого виходу (точка O^1 симплексу OAB). Таким чином, точка побудови нового експерименту O^1 є дзеркальним відображенням точки максимального (або мінімального) виходу O .

Для визначення координат точки O^1 можна обмежуватися графічним методом побудови рівнобічних трикутників, які мають спільну сторону. У складніших випадках, коли кількість факторів більше двох або при бажанні користуватися розрахунковими прийомами, відповідно правилам векторного обчислення, координати точки O^1 знаходять як подвоєну середню координат старого симплексу без точки найгіршого виходу, координати якого віднімаються з цього значення:

$$\bar{V}_j^1 = 2 \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \dots + \bar{V}_n}{n} - \bar{V}_j$$

$$\text{Для випадку, що розглядається, } \bar{V}_O^1 = 2 \frac{\bar{V}_A + \bar{V}_B}{2} - \bar{V}_O$$

Після постановки експерименту в точці O^1 і визначення величини виходу y_{O^1} його порівнюють зі значеннями y_O , y_A , y_B і ставлять ще один експеримент, “кантуючи” симплекс в той чи інший бік (рис.8.4), поки не буде

досягнуто екстремум. При цьому слід мати на увазі, що якщо в результаті постановки ряду експериментів симплекс починає “обертатися” навколо деякого значення, то після постановку $n+1$ -го експерименту подальший рух треба зупинити і повторити дослід, який дав найкращий вихід, і на ньому зупинитися.

Бувають особливі випадки, коли при постановці експерименту в новому симплексі (в точці O^I , наприклад), отримано також мінімальний вихід. Тоді треба повертатися до старого симплексу і при побудові нового за вихідну точку взяти координати другого найгіршого виходу (наприклад, т. B).

Таким чином, використання симплекс-планування дає можливість різко скоротити кількість дослідів порівняно з методом повного факторного експерименту, в якому додавання кожного нового фактору потребує подвоєння кількості дослідів, а при симплекс-плануванні – тільки одного, якщо вибрано правильний напрямок, і ще одного, якщо напрямок був невірним. Однак цей метод не дає оцінки окремих факторів, а також взаємодії факторів.

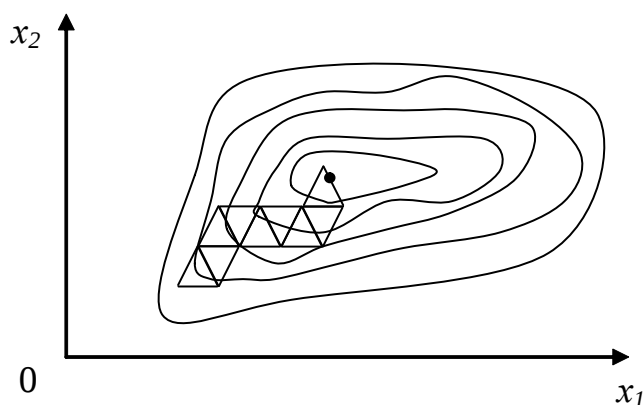


Рис. 8.4. Графічна інтерпретація симплекс-планування.

8.3.4. Лінійне програмування

Лінійне програмування є одним з розділів математичного програмування, який розглядає теорії й методи вирішення завдань про екстремуми лінійних функцій на множинах, що задаються системами лінійних рівнянь і нерівностей [42].

Математична модель будь-якої задачі лінійного програмування містить у собі: максимум або мінімум цільової функції (критерій оптимальності); систему обмежень у формі лінійних рівнянь і нерівностей; вимогу незаперечності змінних.

Зміст терміна "лінійне програмування" в тому, що з його допомогою вирішуються завдання складання оптимальної програми (плану) дій. Термін «програмування» потрібно розуміти як «планування».

Розв'язки, що задовольняють системі обмежень і вимозі незаперечності, є **припустимими**, а розв'язки, що задовольняють одночасно й вимозі мінімізації (максимізації) функції в цілому є **оптимальними**.

В залежності від поставленої мети критеріями оптимальності можуть бути такі показники: коефіцієнт корисної дії; скорочення часу протікання процесу; обсяг виробництва продукції з одиниці сировини; вартість сировини; зменшення дисипації енергії та ін. Цільова функція ЦФ записується у вигляді виразу (8.1):

$$ЦФ = \sum_{i=1}^n C_i \cdot X_i \rightarrow \max (\text{або } \min) , \quad (8.1)$$

де C_i – коефіцієнти при невідомих у цільовій функції; X_i – керовані параметри, які впливають на цільову функцію; n – кількість параметрів.

Функція (8.1) повинна бути максимізована або мінімізована за рахунок оптимального вибору значень $X_1, X_2, \dots, X_n$, які повинні задовольняти певним обмеженням виду:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot X_i \quad R_j \quad b_j, \quad j = 1 \dots m , \quad (8.2)$$

де a_{ij} – певні коефіцієнти; b_j – задані граничні значення обмежень; R_j – один зі знаків “ $\geq$ ”, “ $=$ ” або “ $\leq$ ”.

Задача вирішується кроковим методом або симплекс-методом. Для двовимірних задач застосування симплекс-методу означає, що пряма переміщується паралельно сама собі. Для n -вимірної задачі система нерівностей визначає межі опуклого багатогранника, і паралельно сама собі

переміщується не пряма, а гіперплощина. Розв'язок завжди знаходиться в вершині (якщо він єдиний) або заповнює ребро багатогранника. На сьогодні вирішувати задачі лінійного програмування доцільно з використанням можливостей обчислювальної техніки, зокрема функції «Пошук екстремуму» програми Excel.

8.4. Основи раціонального конструювання обладнання

Раціонально спроектоване обладнання повинне відповідати експлуатаційним, конструктивним, естетичним, економічним вимогам і вимогам техніки безпеки.

В обладнанні, яке проектується, треба створити оптимальні для проведення процесу умови. Вони визначаються типом процесу, агрегатним станом мас, які обробляються, їх хімічним складом і фізичними властивостями. Обладнання повинне мати таку форму, яка б забезпечила необхідні технологічні умови протікання процесу (тиск, при якому відбувається процес, швидкість руху і ступінь турбулізації потоку, відсутність застійних зон, створення необхідного контакту фаз, механічні, теплові, електричні і магнітні впливи).

Підвищити інтенсивність роботи обладнання можна шляхом заміни періодичних процесів неперервними (при цьому ліквідуються витрати часу на допоміжні операції, можливо здійснити автоматизацію виробництва), збільшенням швидкостей руху його робочих органів, зміною фізико-хімічних умов перебігу процесу. Обладнання вважається тим досконалішим, чим менше енергії витрачається на виготовлення одиниці продукції.

Конструкція обладнання повинна: бути зручною для транспортування; мати мінімальну вагу; забезпечувати можливість проведення систематичних оглядів, очищення і поточних ремонтів без тривалих зупинок; бути надійною і довговічною. При проектуванні обладнання доцільно широко використовувати стандартні і взаємозамінні деталі.

Зменшення маси обладнання знижує його вартість. Цього можна досягти за рахунок усунення надлишкових запасів міцності, а також зміною форми. При конструюванні апаратів циліндричної форми, якщо є можливість, слід вибирати таке співвідношення висоти до діаметра, при якому відношення площі поверхні до об'єму буде мінімальним, відповідно буде мінімальна і маса металу, з якого виготовляється циліндричний апарат. Витрата металу також може бути зменшена при заміні плоских кришок опуклими. В багатьох випадках до значного зменшення маси апарата призводить перехід до зварних конструкцій, раціоналізація будови окремих вузлів, використання металів підвищеної міцності і пластичних матеріалів (текстоліту, вініпласту та ін.). Матеріал, з якого буде зроблено обладнання, повинен бути стійким до впливу на нього середовищ, які обробляються.

При проектуванні слід також приділяти увагу технологічності конструкції, яка характеризується витратами часу і праці на її виготовлення.

Проектуючи обладнання, слід прагнути до того, щоб процес, який в ньому відбувається, здійснювався в оптимальному варіанті. Задача оптимізації полягає в тому, щоб вибрати такий варіант, при якому величина, що характеризує роботу обладнання (критерій оптимальності), мала б оптимальне значення.

Контрольні запитання

- 1. Які основні параметри оптимізації використовують?*
- 2. Яким вимогам повинен відповідати параметр оптимізації?*
- 3. Дайте визначення терміну «ефективність плану».*
- 4. Який спосіб планування однофакторних екстремальних експериментів є найбільш ефективним?*
- 5. Назвіть основні способи вирішення задач оптимізації в багатфакторних експериментах.*
- 6. Суть методу Зейделя – Гауса, його переваги і недоліки.*

7. Які є способи вирішення задач оптимізації, які використовують теорію математичного планування експерименту?
8. Оптимізація процесу по методу крутого сходження, його переваги і недоліки.
9. Суть симплекс-планування, його переваги і недоліки.
10. Як визначається досягнення оптимуму при симплекс-плануванні?
11. Які задачі можна вирішувати методами лінійного програмування?
12. Суть методу лінійного програмування.
13. Назвіть основні принципи оптимізації конструкцій обладнання.
14. Завдяки чому можна зменшити масу апарата?

9. ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ТА НАУКОВОГО ЗВІТУ

9.1. Структура наукового звіту

Звіт складається по мірі роботи над літературою і експериментальною частиною. Наприкінці роботи виконується тільки його оформлення з дотриманням основних положень Державного стандарту України ДСТУ 3008–95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення» [44].

Звіт умовно поділяють на: вступну частину; основну частину; додатки; матеріал у кінці звіту.

Вступна частина може містити такі структурні елементи: обкладинку (сторінки 1 і 2 обкладинки); титульний аркуш; список авторів; реферат; зміст; перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів; передмову.

Основна частина містить такі структурні елементи: вступ; суть звіту; висновки; рекомендації; перелік посилань.

Додатки розміщують після основної частини звіту.

Матеріал у кінці звіту містить структурний елемент "Обкладинка (сторінки 3 і 4 обкладинки)".

Структурні елементи "Обкладинка (сторінки 1 і 2 обкладинки)", "Обкладинка (сторінки 3 і 4 обкладинки)" подають у разі видання звіту.

9.1.1. Вимоги до структурних елементів вступної частини

Титульний аркуш є першою сторінкою звітів і служить основним джерелом бібліографічної інформації, необхідної для оброблення та пошуку документа.

Список авторів розміщують безпосередньо за титульним аркушем, починаючи з нової сторінки. В ньому в загальному випадку наводять імена (або перші літери імен) та прізвища авторів, їх посади, вчені ступені, вчені звання з зазначенням частини звіту, підготовленої конкретним автором. Якщо

звіт виконаний одним автором, відомості про нього подають на титульному аркуші.

Реферат призначений для ознайомлення зі звітом. Він має бути стислим, інформативним і містити відомості, які дозволяють прийняти рішення про доцільність читання всього звіту. Реферат має бути розміщений безпосередньо за списком авторів, починаючи з нової сторінки. У випадку, якщо список авторів не складають, реферат розміщують за титульним аркушем. Реферат повинен містити: відомості про обсяг звіту, кількість частин звіту, кількість ілюстрацій, таблиць, додатків, кількість джерел згідно з переліком посилань (усі відомості наводять, включаючи дані додатків); текст реферату; перелік ключових слів (від 5 до 15 слів або словосполучень, надрукованих великими літерами в називному відмінку в рядок через коми).

Текст реферату повинен відображати подану у звіті інформацію і, як правило, у такій послідовності: об'єкт дослідження або розроблення; мета роботи; методи дослідження та апаратура; результати та їх новизна; основні конструктивні, технологічні й техніко-експлуатаційні характеристики та показники; ступінь впровадження; взаємозв'язок з іншими роботами; рекомендації щодо використання результатів роботи; галузь застосування; економічна ефективність; значущість роботи та висновки; прогнозні припущення про розвиток об'єкта дослідження або розроблення.

Частини тексту реферату, щодо яких відсутні відомості, не наводять.

Реферат виконується обсягом не більш як 500 слів, і, бажано, щоб він вмістився на одній сторінці формату А4.

Зміст розташовують безпосередньо після реферату, починаючи з нової сторінки. До змісту включають: перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів; передмову; вступ; послідовно перелічені назви всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки) суті звіту; висновки; рекомендації; перелік посилань; назви додатків і номери сторінок, які містять початок матеріалу. Зміст складають, якщо звіт містить не

менш ніж два розділи або один розділ і додаток за загальної кількості сторінок не менше десяти.

Усі прийняті у звіті малопоширені умовні позначення, символи, одиниці, скорочення і терміни пояснюють у *переліку умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів*, який вміщують безпосередньо після змісту, починаючи з нової сторінки. Незалежно від цього за першої появи цих елементів у тексті звіту наводять їх розшифровку.

Якщо *передмову* передбачено, в ній наводять супровідні нотатки, що пояснюють певні аспекти роботи, простежують історичні умови для даної роботи тощо.

9.1.2. Вимоги до структурних елементів основної частини

У *вступі*, який розташовують на окремій сторінці, коротко викладають:

- оцінку сучасного стану проблеми, відмічаючи практично розв'язані задачі, прогалини знань, що існують у даній галузі, провідні організації та провідних вчених і фахівців даної галузі;
- світові тенденції розв'язання поставлених задач;
- актуальність даної роботи та підставу для її виконання;
- мету роботи та галузь застосування;
- взаємозв'язок з іншими роботами.

Суть звіту – це викладення відомостей про предмет (об'єкт) дослідження або розроблення, котрі є необхідними й достатніми для розкриття сутності даної роботи (опис: теорії; методів роботи; характеристик і/або властивостей створеного об'єкта; принципів дії об'єкта та основних принципових рішень, що дають уявлення про його устрій; метрологічного забезпечення та ін.) та її результатів. Викладаючи суть звіту, особливу увагу приділяють новизні в роботі, а також питанням сумісності, взаємозамінності, надійності, безпеки, екології, раціонального використання ресурсів.

Якщо у звіті необхідно навести повні докази (наприклад, математичні – у звітах, що не мають безпосереднього відношення до предмету математики) або подробиці дослідження (розроблення), їх наводять у додатках.

Суть звіту викладають, поділяючи матеріал на розділи. Розділи можуть поділятися на пункти або на підрозділи і пункти. Пункти, якщо це необхідно, поділяють на підпункти. Кожен пункт і підпункт повинен містити закінчену інформацію.

Важливе значення схем в звітах про експеримент навряд чи можна переоцінити. Доповнена кількома словами схема часто виявляється найпростішим і найкоротшим способом пояснення ідеї експерименту і опису установки.

Найкращим варіантом є графічне зображення установки і необхідні пояснення до неї, які в цьому випадку вже можуть бути стислими. Схема повинна бути виконана якомога простіше; на ній треба вказувати тільки те, що має відношення до експерименту. Часто треба викреслювати повну схему установки з приблизним дотриманням масштабу, однак на деяких схемах можна викривлювати масштаб, якщо це дозволяє більш чітко виявити ту чи іншу особливість схеми (наприклад, показувати, що певна частина установки має сітчасте дно) [11].

У звіті треба використовувати одиниці SI. Якщо вимірювання виконано в інших одиницях, переведення їх в одиниці SI обов'язкове лише за умови викладення найважливіших положень звіту.

У *висновках*, які розміщують безпосередньо після викладення суті звіту, починаючи з нової сторінки, наводять оцінку одержаних результатів роботи або її окремого етапу (негативних також) з урахуванням світових тенденцій вирішення поставленої задачі; можливі галузі використання результатів роботи; народногосподарську, наукову, соціальну значущість роботи.

У звіті на ґрунті одержаних висновків можуть наводитись *рекомендації*. Вони повинні мати конкретний характер і бути повністю підтверджені звітною роботою. У рекомендаціях визначають подальші роботи, які вважають

необхідними, приділяючи основну увагу пропозиціям щодо ефективного використання результатів дослідження чи розроблення.

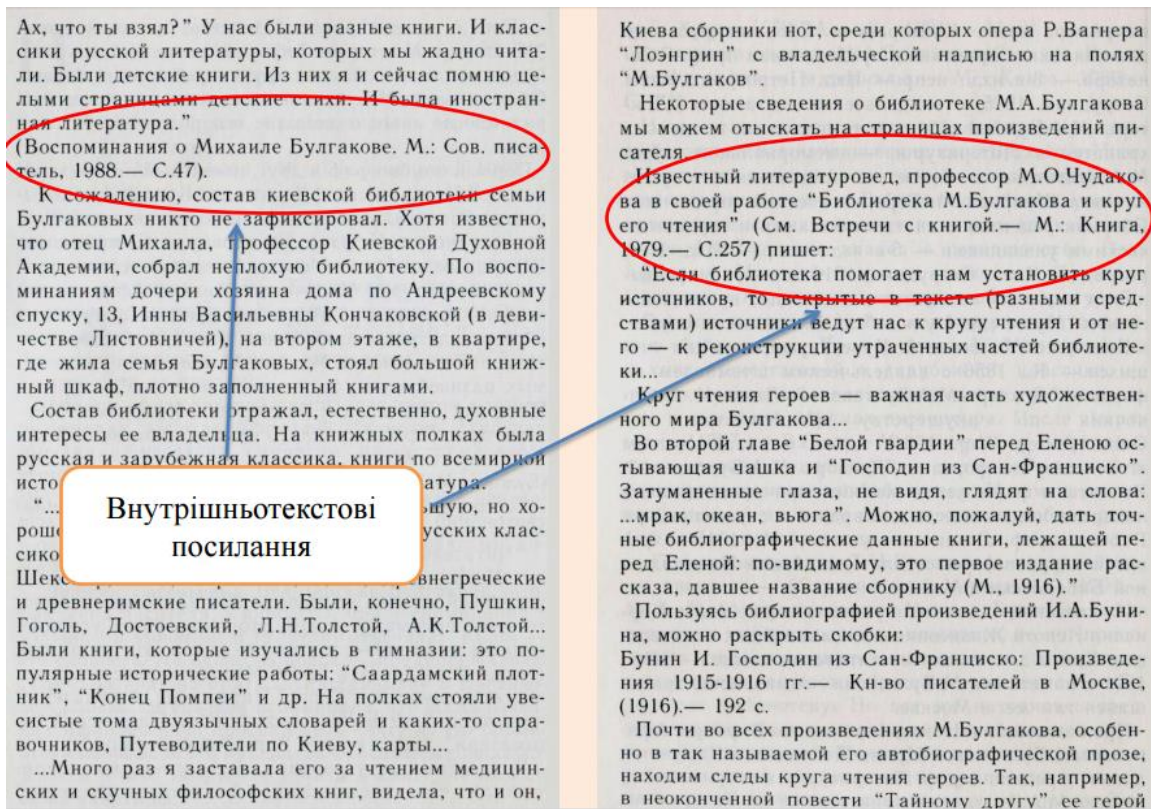
Перелік джерел, на які є посилання в основній частині звіту, наводять у кінці тексту звіту, починаючи з нової сторінки. У відповідних місцях тексту мають бути посилання.

За місцем розташування в документі розрізняють бібліографічні посилання:

внутрішньотекстові — розміщені в тексті документа;

підрядкові — винесені з тексту в низ полоси документа (у виноску)

затекстові — винесені за текст документа або його частини (у виноску)



В. Й. Довженок, досліджуючи давньоруські городища, значну увагу приділяє Княжій Горі. Зокрема, в статті 1961 р.⁸⁵ він зазначає, що городище Княжа Гора на Дніпрі було феодальним двором-замком⁸⁶. Автор дає загальну характеристику городища, а також аналізує його соціальні риси. Вважає, що зіставляючи археологічні дані з назвою гори, можна дійти висновку, що ця назва зберігає дуже давню традицію і відбиває історичну дійсність, тобто на горі знаходився князівський замок.

В 1961 р. В. Й. Довженок також публікує працю, присвячену землеробству давньої Русі, де вказує, що розкопки на Княжій Горі дали цінний матеріал для вивчення як землеробства, так і інших галузей господарства, а також розглядає соціальні категорії населення, що мешкало на городищі⁸⁷. Автор припускає, що на Княжій Горі жив один з давньоруських князів, який і був власником замку, що стояв тут. У князівському укріпленому дворі жив сам князь із своєю сім'єю, а також найближче його оточення, що складалося з представників військово-дружинної верстви та господарчої адміністрації, причому, вони могли сполучати функції військові й адміністративно-господарські. На князівському дворі жила також господарська і дворова челядь. Князівський двір, на думку автора, був оточений сільськими неукріпленими поселеннями.

В 1965 р. Н. І. Шендрик публікує нове дослідження, що базується на матеріалах з Княжої Горі⁸⁸. На її думку, серед знайдених М. Ф. Біляшівським на Княжій Горі матеріалів особливо цікавими є інструменти для обробки овечих шкур (кличка, скобелі, ніж), які дають можливість твердити про наявність ще в Київській Русі спеціалізованого виду шкіряного виробництва — кушнірства. Для атрибуції матеріалів автор використовує й етнографічні дані.

Г. Ф. Корзухіна в праці 1966 р. звернула увагу на орнаментовану черню та гравіюванням бронзову сокирку зі стальним лезом, овальною петлею вздовж нього та обухом з виямкою із розкопок М. Ф. Біляшівського на Княжій Горі⁸⁹. Вказуючи на аналог з о. Готланд, дослідниця датує сокирку з Княжої Горі XI ст. і вважає, що така зброя мала бойове призначення, лише належала багатим особам, можливо синам великих феодалів, які з дитячого віку були навчені мистецтву володіння зброєю. Г. Ф. Корзухіна наголошує

підрядкові
виноски

⁸⁵ Довженок В. Й. Давньоруські городища-замки // Археологія.— 1961.— Том XIII.— С. 95—104.

⁸⁶ Там само.— С. 95, 98, 99, 103, 104.

⁸⁷ Довженок В. Й. Землеробство Давньої Русі до середини XIII ст.— К., 1961.— С. 39, 40, 66, 96, 220, 223—227.

⁸⁸ Шендрик Н. І. Нове в шкіряному виробництві часів Київської Русі // Нове в музеях України.— Вип. 2.— 1965.— С. 49—52.

⁸⁹ Корзухіна Г. Ф. Ладожский топорик // Культуры древней Руси.— М., 1966.—



Загальні правила цитування та посилання на використані джерела при написанні дисертацій та авторефератів дисертацій [45]

Посилання в тексті дисертації на джерела слід зазначати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад, —... у працях [1–7]....

Якщо в тексті дисертації необхідно зробити посилання на складову частину чи конкретні сторінки відповідного джерела, можна наводити посилання у виносках, при цьому номер посилання має відповідати його бібліографічному опису за переліком посилань.

Приклад: Цитата в тексті: —... незважаючи на пріоритетне значення мовних каналів зв'язку між діловими партнерами, ні в якому разі не можна ігнорувати найбільші канали передавання інформації [13, с. 29].

Відповідний опис у переліку посилань:

13. Дороніна М. С. Культура спілкування ділових людей : навч. посіб. / Дороніна М. С. – К. : KM Academia, 1998. – 192 с.

Відповідне подання виноски:

*Дороніна М. С. Культура спілкування ділових людей / Дороніна М. С. – К. : KM Academia, 1998. – 192 с.

Бібліографічні описи в переліку посилань подають у порядку, за яким вони вперше згадуються в тексті. Порядкові номери описів у переліку є посиланнями в тексті (номерні посилання).

Бібліографічні описи посилань у переліку наводять відповідно до чинних стандартів з бібліотечної та видавничої справи [25].

9.1.3. Вимоги до додатків

У додатках вміщують матеріал, який:

- є необхідним для повноти звіту, але включення його до основної частини звіту може змінити впорядковане й логічне уявлення про роботу;
- не може бути послідовно розміщений в основній частині звіту через великий обсяг або способи відтворення;
- може бути вилучений для широкого кола читачів, але є необхідним для фахівців даної галузі.

У додатки можуть бути включені: додаткові ілюстрації або таблиці; матеріали, які через великий обсяг, специфіку викладення або форму подання не можуть бути внесені до основної частини (оригінали фотографій, мікрофіші; проміжні математичні докази, формули, розрахунки; протоколи випробувань; висновки метрологічної експертизи; копія технічного завдання, програми робіт, договору чи іншого документа, що замінює технічне завдання; інструкції, методики, опис комп'ютерних програм, розроблених у процесі виконання роботи та ін.); додатковий перелік джерел, на які не було посилань

у звіті, але які можуть викликати інтерес; опис нової апаратури і приладів, які використовувались під час проведення експерименту, вимірів та випробувань.

9.2. Вимоги до оформлення статей

Вимоги до оформлення статей в різних періодичних і продовжуваних виданнях можуть істотно відрізнятися. Однак для видань, які реферовані у наукометричних базах, вони подібні. Нижче наведені вимоги до праць, які подаються на опублікування у журналі *Propulsion and Power Research*.

Рекомендований обсяг статті - 8-16 сторінок формату A4 (без врахування анотацій та списку літератури), шрифт – Times New Roman, розмір шрифту – 14, інтервал – 1.

СТРУКТУРА СТАТТІ:

1. УДК.
2. Назва статті.
3. Автори статті.
4. Установа, в якій виконана робота.
5. Анотація. Анотація розділяється на розділи аналогічно статті:

Вступ. Не більше 3 рядків. Доцільно вказати актуальність теми або мету досліджень (якщо її не видно з назви), або постановку задачі. Не можна у вступі до анотації писати загальновідомі факти.

Матеріали та методи. До 5 рядків, вказати, які матеріали досліджуються, і які методики використані для кожного етапу досліджень.

Результати та обговорення. Півсторінки. Наводити потрібно не констатацію виконаної роботи словами "Встановлено...", "Досліджено"..., а дуже лаконічно навести конкретні результати, з цифрами, оптимальними та раціональними значеннями, умовами, режимами, пояснення результатів.

Висновки. 1-2 рядки – вказується наукова новизна або рекомендації щодо застосування результатів досліджень.

6. Ключові слова (3-5 слів)
7. Основний текст статті. Має включати такі обов'язкові розділи:

- Вступ
- Матеріали та методи
- Результати та обговорення
- Висновки
- Література

Обов'язкові розділи доцільно розбивати на підрозділи. Це полегшує сприйняття статті.

У *вступі* доцільно довести актуальність теми в світі, розглянути сучасні наукові праці за тематикою досліджень, описати мету досліджень, завдання досліджень. Якщо огляд праць займає значний об'єм – доцільно його виділити в окремий розділ, наприклад "Аналіз наукових праць".

Розділ *"Матеріали та методи"* потрібно представити у вигляді детальної інструкції так, щоб будь який вчений світу міг повторити Ваші дослідження та отримати аналогічні результати.

В розділі *«Результати та обговорення»* подаються тільки отримані автором або авторами конкретні дані. В підрозділі обговорення отримані результати аналізуються або порівнюються з відомими.

У *«Висновках»* коротко подається узагальнення результатів виконаної роботи і надаються рекомендації.

9.3. Оформлення об'єктів технічної творчості

Заявка на винахід або корисну модель повинна включати в себе такі документи: заяву про видачу патенту, опис винаходу, формулу винаходу, реферат, креслення та інші матеріали, які ілюструють можливий винахід. Заявка подається у трьох екземплярах.

В заяві вказують назву винаходу, прізвище, ім'я, по-батькові автора, його адресу, місце роботи, власника патенту. Якщо заявник – організація, то в заяві обов'язково вказується назва організації, де створено винахід.

В *описі* і кресленнях суть винаходу повинна бути викладена точно і повно, щоб було видно його новизну. Опис винаходу займає 2-3 сторінки і має таку структуру:

Назва винаходу

Винахід відноситься до обладнання ... виробництва, а саме до обладнання для ..., і може бути використаний на підприємствах ... промисловості.

Відома машина (або апарат) ... (*прототип*), що складається з, має суттєві недоліки: ... (Див. *посилання на літературу*)

В основу винаходу поставлено задачу

Машина (або апарат) складається з ... Згідно винаходу

Причинно-наслідковий зв'язок: (*пропозиція* → *результат*).

На фіг.1 зображено

Машина (або апарат) являє собою ... (*опис конструкції*).

Принцип роботи:

Таким чином, така конструкція дає можливість

Опис закінчується формулою винаходу, яка є єдиним критерієм для визначення об'єму винаходу, тобто короткою словесною характеристикою, яка виражає технічну суть винаходу.

Формула винаходу має чотири основних призначення:

- а) коротко та чітко викласти технічну суть винаходу;
- б) визначити межі винаходу;
- в) служити засобом відмітності об'єкту винаходу від інших об'єктів або визначення подібності для встановлення факту використання винаходу;
- г) давати коротку, але достатню інформацію відповідним спеціалістам про те нове, що досягнуто винаходом в галузі, до якої він належить.

Склад формули винаходу:

- обмежуюча частина, яка включає в себе назву і ознаки, спільні для даного об'єкта винаходу та прототипу;
- розділова частина, яка виражена фразою: "...який (-а, -е) відрізняється тим, що...";
- відмітна частина, яка включає в себе ознаки, які відрізняють об'єкт винаходу від прототипу (тобто нові ознаки).

Наприклад:

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Світлова електростанція, яка містить сонячну батарею, осцилятор та магнітоелектричний привід, яка відрізняється тим, що додатково має обгінну муфту, пружинний привід та електрогенератор, а магнітоелектричний привід має електрокатушку, яка через постійні магніти з'єднана з важелями, причому сонячна батарея з'єднана через осцилятор з магнітоелектричним приводом, а вал магнітоелектричного приводу з'єднаний через вал обгінної муфти, з яким з'єднані важелі, з пружинним приводом, який, в свою чергу, через ротор електрогенератора з'єднаний з пристроєм споживання електроенергії.

Вирішальним етапом в системі правового захисту винаходів є експертиза заявок, які надходять в Патентне відомство, після їх реєстрації. Вона проводиться в дві стадії:

1 стадія – перевірка на дотримання вимог оформлення заявки, при цьому вирішуються такі питання:

- прийняти заявку до розгляду;
- відмовити у прийнятті заявки до розгляду та мотиви цього рішення;
- запропонувати заявнику внести в заявку необхідні зміни і доповнення (термін 2 місяці).

2 стадія – перевірка дотримання вимог, які пред'являються до винаходу.

Перевірка проходить протягом приблизно 6 місяців. Мета – зробити висновок, чи є новизна у даного винаходу і чи можливо його використовувати у народному господарстві. Експертиза винаходу на новизну складається з таких етапів:

- 1) попереднє встановлення принципів ознак винаходу;
- 2) пошук прототипу можливого винаходу;

3) співставлення можливого винаходу і прототипу з метою виявлення ознак, які їх відрізняють;

4) оформлення можливого рішення про видачу патенту або відмова у його видачі.

На всіх етапах дослідження заявок і матеріалів експертиза при потребі має право попросити у заявника додаткові матеріали, які уточнюють суть винаходу. Матеріали повинні бути відправлені в місячний термін з моменту отримання запиту. Можливий виклик автора для участі у розгляді його заявки.

Контрольні запитання

- 1. З яких основних частин складається звіт з науково-дослідної роботи?*
- 2. Яким вимогам повинна відповідати вступна частина?*
- 3. Які питання слід розкрити в основній частині?*
- 4. Призначення додатків.*
- 5. З яких структурних елементів складається наукова стаття?*
- 6. Які документи подаються при оформленні заявки на винахід?*
- 7. Призначення і структура формули винаходу.*

Список використаної літератури

1. Партико З.В. Наука, псевдонаука, паранаука й інженерні вчення / З.В. Партико // Бюлетень ВАК України № 9, 2010. – С. 39 – 43.
2. Основи наукових досліджень: конспект лекцій / укладач Е. В. Колісніченко. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 83 с.]
3. Сергієнко В.В. Філософські проблеми наукового пізнання : навчальний посібник. / В. В. Сергієнко – Кременчук : Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2011. – 103 с.
4. «Про наукову і науково-технічну діяльність» : [закон України : від 26 листопада 2015 р. № № 848-VIII] // Відомості Верховної Ради України. — 2016. — № 3. — С. 25.
5. Стан розвитку науки і техніки, результати наукової, науково-технічної, інноваційної діяльності, трансферу технологій за 2014 рік. Аналітична довідка. – К.: Міністерство освіти і науки України, Український інститут науково-технічної і економічної інформації, 2015.
<http://old.mon.gov.ua>
6. Лебеда Т.Б. Стан фінансування наукових та науково-технічних робіт в Україні: статистичний розріз / Т.Б. Лебеда // Проблеми науки. – 2012. – №12
7. Стріха М. Українська наука перед викликами / м. Стріха // Дзеркало тижня. Україна, 2012. - №8.
http://gazeta.dt.ua/SCIENCE/ukrayinska_nauka_pered_viklikami_.html
8. Аптекар С.С. Наука – рушійна сила інноваційної діяльності // http://www.rusnauka.com/18_DNI_2010/Economics/69549.doc.htm
9. «Про вищу освіту» : [закон України : від 01 липня 2014 р. № 1556-VII] // Відомості Верховної Ради України. — 2014. — № 37–38. — С. 2004.
10. Методи, методологія та логіка наукового пізнання [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://pidruchniki.com/10560412/filosofiya/metodi_metodologiya_logika_naukovo_go_piznannya

11. Мальцев П.М. Основы научных исследований / П.М. Мальцев, Н.А. Емельянова. – К.: Вища школа, 1982. – 192 с.
12. Вощевська О. Професійна підготовка майбутніх інженерів-аграрників як проблема педагогічного дослідження / О. Вощевська, П. Бенескул // Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету. – 2012. – Ч. 3. – С. 35–40.
13. Политехнический словарь / Гл. ред. акад. А.Ю. Ишлинский. – 2-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1980. – 656 с.
14. Кузнецов Ю.М. Навчати політехніків науково-технічної творчості. До дня винахідника і раціоналізатора // Сайт Національного технічного університету України «КПІ» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kpi.ua/526-10>.
15. Чус А.В. Основы технического творчества / А.В. Чус. – К.: Вища школа, 1983. – 184 с.
16. Мигаль В.Д. Теорія і методи наукової творчості: Навчальний посібник / В.Д. Мигаль. – Х.: ВД. „ІНЖЕК”, 2007. – 424 с.
17. Кузнецов Ю.М. Теорія розв'язання творчих задач / Ю.М. Кузнецов. – К.: ТОВ "ЗМОК" – ПП "ГНОЗИС", 2003. – 294 с.
18. Кузнецов Ю.М. Теорія технічних систем / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк. – К. – Тернопіль, 1997. – 310 с.
19. Видання. Основні види. Терміни та визначення : ДСТУ 3017—95. – [Чинний від 1996-01-01.]. – К.: Держстандарт України, 1996. – 47 с. – (Державний стандарт України)
20. Білуха М.Т. Основы научных исследований / М.Т. Білуха. – К.: Вища школа, 1997. – 271 с.
21. Охорона інтелектуальної власності в Україні / С.О. Довгий, В.О. Жаров, В.О. Зайчук, та ін. – К.: Форум, 2002. – 319 с.
22. «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» : [закон України : від 15 грудня 1993 р. № 3687-ХІІ] // Відомості Верховної Ради України. — 1994. — № 7. — С. 32.

23. «Про охорону прав на промислові зразки» : [закон України : від 15 грудня 1993 р. № 3688-XII] // Відомості Верховної Ради України. — 1994. — № 7. — С. 34.

24. Міжнародна патентна класифікація [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org>.

25. ДСТУ ГОСТ 7.1–2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання [Текст]. — Замість ГОСТ 7.1–2003. — Вперше (зі скасуванням ГОСТ 7.1–84, ГОСТ 7.16–79, ГОСТ 7.18–79, ГОСТ 7.34–81, ГОСТ 7.40–82); введ. 2007–07–01. — К.: Держспоживстандарт України, 2007. — III, 47 с. — (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи).

26. Пономаренко, Л.А. Як підготувати і захистити дисертацію на здобуття наукового ступеня. Методичні поради / Л. А. Пономаренко. — К.: Редакція «Бюлетеня Вищої атестаційної комісії України», Видавництво «Толока», 2001. — 80 с.

27. Шикуча, О.М. Основи наукових досліджень: конспект лекцій для студ. спец. 7.05050313 «Обладнання переробних і харчових виробництв» спеціалізації 7.05050313.05 «Обладнання виробництва біопалива» денної та заочної форм навчання / О.М. Шикуча, О.О. Осьмак. — К.: НУХТ, 2013. — 71 с.

28. Тензорезистор [Електронний ресурс] // Матеріал з вікіпедії. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org>

29. Похибка вимірювання [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org>

30. Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань : ДСТУ EN 45501:2007. — [Чинний від 2008-01-01.]. — К.: Держспоживстандарт України, 2008. — 77 с. — (Національний стандарт України).

31. Клас точності [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org>

32. Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань : ДСТУ EN 45501:2007. – [Чинний від 2008-01-01.]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 77 с. – (Національний стандарт України).

33. Гліненко, Л.К. Основи моделювання технічних систем / Л.К. Гліненко, О.Г. Сухоносів. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 176 с.

34. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента: Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 384с.

35. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике / Под ред. М.Е. Позина. – Л.: Химия, 1968. – 823 с.

36. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1985. – 448 с.

37. Дьяконов В. Mathcad 2000: учебный курс / В. Дьяконов. – С-Пб.: Питер, 2000. – 592 с.

38. Сиденко В.М., Грушко И.М. Основы научных исследований. – Харьков: Вища школа, 1977. – 200 с.

39. Бодров, В.С. Математико-статистичні методи досліджень: Курс лекцій для магістрантів спеціальностей напряму 0917 «Харчова технологія та інженерія», напряму 0902 «Інженерна механіка» та напряму 0905 «Енергетика» ден. та заоч. форм навч / В.С. Бодров, В.Л. Зав'ялов, Т.Г. Мисюра. – К.: НУХТ, 2008. – 106 с.

40. Малышев, В. П. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента / В. П. Малышев. – Алма-Ата : Наука КазССР, 1977. – 37 с.;

41. Малышев, В. П. Вероятностно-детерминированное планирование эксперимента / В. П. Малышев. – Алма-Ата : Наука КазССР, 1981. – 116 с.

42. Кулен, Р.В. Математическое программирование (с элементами информационных технологий) / Р.В. Кулен, Е.А. Юнькова, А.Б. Жальцов. – К.: МАУП, 2000. – 124 с.

43. Градієнт [Електронний ресурс] // стаття з Вікіпедії – Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki>

44. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення: ДСТУ 3008-95. – [Чинний від 1996–01–01]. – К.: Державний комітет України по стандартизації, метрології та сертифікації, 1995. – 22 с. – (Державний стандарт України)

Кордюкова, О. Основи бібліографічного опису. Складання бібліографічних списків [Електронний ресурс] / О. Кордюкова. – Режим доступу:

http://www.library.ukma.edu.ua/fileadmin/documents/Presentations/Osnovu_bibliogr_opusy.pdf

Додатки

Таблиця А.1

Значення критерію α_T для визначення грубих похибок

Кількість повторностей m	$q=0,05$		$q=0,01$	
	α_T^*	α_T^{**}	α_T^*	α_T^{**}
3	0,941	1,000	0,988	1,000
4	0,765	0,967	0,889	0,992
5	0,642	0,845	0,780	0,929
6	0,560	0,736	0,698	0,836
7	0,507	0,661	0,637	0,778
8	0,468	0,607	0,590	0,710
9	0,437	0,565	0,555	0,667
10	0,412	0,531	0,527	0,632
11	0,392	0,504	0,502	0,603
12	0,376	0,481	0,482	0,579
15	0,338	0,430	0,438	0,522
20	0,300	0,372	0,391	0,464
24	0,281	0,347	0,367	0,434
30	0,260	0,322	0,341	0,402

* - для виключення одного результату,

** - для виключення одразу двох результатів

Таблиця А.2

Значення критерію максимального відхилення $r_{\max}$ ($r_{\min}$)

Кількість ступенів вільності f	Рівень значущості q		Кількість ступенів вільності f	Рівень значущості q	
	0,01	0,05		0,01	0,05
1	1,414	1,412	13	2,800	2,493
2	1,723	1,689	14	2,837	2,523
3	1,955	1,809	15	2,871	2,551
4	2,130	1,996	16	2,903	2,557
5	2,565	2,093	17	2,932	2,600
6	2,374	2,172	18	2,959	2,623
7	2,464	2,237	19	2,984	2,644
8	2,540	2,294	20	3,008	2,644
9	2,606	2,343	21	3,030	3,683
10	2,663	2,387	22	3,051	2,701
11	2,714	2,426	23	3,071	2,717
12	2,759	2,461			

Таблиця А.3

Критичні значення критерію t-Стюдента

f	q				f	q				f	q			
	0,10	0,05	0,01	0,001		0,10	0,05	0,01	0,001		0,10	0,05	0,01	0,001
1	6,314	12,70	63,65	636,61	31	1,696	2,040	2,744	3,633	61	1,670	2,000	2,659	3,457
2	2,920	4,303	9,925	31,602	32	1,694	2,037	2,738	3,622	62	1,670	1,999	2,657	3,454
3	2,353	3,182	5,841	12,923	33	1,692	2,035	2,733	3,611	63	1,669	1,998	2,656	3,452
4	2,132	2,776	4,604	8,610	34	1,691	2,032	2,728	3,601	64	1,669	1,998	2,655	3,449
5	2,015	2,571	4,032	6,869	35	1,690	2,030	2,724	3,591	65	1,669	1,997	2,654	3,447
6	1,943	2,447	3,707	5,959	36	1,688	2,028	2,719	3,582	66	1,668	1,997	2,652	3,444
7	1,895	2,365	3,499	5,408	37	1,687	2,026	2,715	3,574	67	1,668	1,996	2,651	3,442
8	1,860	2,306	3,355	5,041	38	1,686	2,024	2,712	3,566	68	1,668	1,995	2,650	3,439
9	1,833	2,262	3,250	4,781	39	1,685	2,023	2,708	3,558	69	1,667	1,995	2,649	3,437
10	1,812	2,228	3,169	4,587	40	1,684	2,021	2,704	3,551	70	1,667	1,994	2,648	3,435
11	1,796	2,201	3,106	4,437	41	1,683	2,020	2,701	3,544	71	1,667	1,994	2,647	3,433
12	1,782	2,179	3,055	4,318	42	1,682	2,018	2,698	3,538	72	1,666	1,993	2,646	3,431
13	1,771	2,160	3,012	4,221	43	1,681	2,017	2,695	3,532	73	1,666	1,993	2,645	3,429
14	1,761	2,145	2,977	4,140	44	1,680	2,015	2,692	3,526	74	1,666	1,993	2,644	3,427
15	1,753	2,131	2,947	4,073	45	1,679	2,014	2,690	3,520	75	1,665	1,992	2,643	3,425
16	1,746	2,120	2,921	4,015	46	1,679	2,013	2,687	3,515	76	1,665	1,992	2,642	3,423
17	1,740	2,110	2,898	3,965	47	1,678	2,012	2,685	3,510	78	1,665	1,991	2,640	3,420
18	1,734	2,101	2,878	3,922	48	1,677	2,011	2,682	3,505	79	1,664	1,990	2,639	3,418
19	1,729	2,093	2,861	3,883	49	1,677	2,010	2,680	3,500	80	1,664	1,990	2,639	3,416
20	1,725	2,086	2,845	3,850	50	1,676	2,009	2,678	3,496	90	1,662	1,987	2,632	3,402
21	1,721	2,080	2,831	3,819	51	1,675	2,008	2,676	3,492	100	1,660	1,984	2,626	3,390
22	1,717	2,074	2,819	3,792	52	1,675	2,007	2,674	3,488	110	1,659	1,982	2,621	3,381
23	1,714	2,069	2,807	3,768	53	1,674	2,006	2,672	3,484	120	1,658	1,980	2,617	3,373
24	1,711	2,064	2,797	3,745	54	1,674	2,005	2,670	3,480	130	1,657	1,978	2,614	3,367
25	1,708	2,060	2,787	3,725	55	1,673	2,004	2,668	3,476	140	1,656	1,977	2,611	3,361
26	1,706	2,056	2,779	3,707	56	1,673	2,003	2,667	3,473	150	1,655	1,976	2,609	3,357
27	1,703	2,052	2,771	3,690	57	1,672	2,002	2,665	3,470	200	1,653	1,972	2,601	3,340
28	1,701	2,049	2,763	3,674	58	1,672	2,002	2,663	3,466	250	1,651	1,969	2,596	3,330
29	1,699	2,045	2,756	3,659	59	1,671	2,001	2,662	3,463	300	1,650	1,968	2,592	3,323
30	1,697	2,042	2,750	3,646	60	1,671	2,000	2,660	3,460	350	1,649	1,967	2,590	3,319

тут f – кількість ступенів вільності, q – рівень значущості.

Таблиця А.4

Значення критерія Фішера F_T для рівня значущості $q=0,05$

Кількість степенів вільності знаменника f_2	Кількість степенів вільності чисельника f_1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	24	48
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,77	238,88	241,88	243,9	249,0	254,3
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,785	8,745	8,638	8,527
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,735	4,678	4,527	4,366
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,637	3,575	3,410	3,231
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	2,978	2,913	2,737	2,539
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,854	2,788	2,609	2,406
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,753	2,687	2,505	2,297
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,671	2,604	2,420	2,208
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,602	2,534	2,349	2,132
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,544	2,475	2,288	2,067
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,494	2,425	2,235	2,011
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,412	2,342	2,150	1,918
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,348	2,278	2,082	1,844
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,165	2,092	1,887	1,624
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,077	2,003	1,793	1,511
50	4,034	3,183	2,790	2,557	2,400	2,286	2,199	2,130	2,026	1,952	1,737	1,440
70	3,978	3,128	2,736	2,503	2,346	2,231	2,143	2,074	1,969	1,893	1,674	1,355
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,927	1,850	1,627	1,286
200	3,888	3,041	2,650	2,417	2,259	2,144	2,056	1,985	1,878	1,801	1,572	1,192