

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного
господарства та природокористування

Кафедра автомобілів та автомобільного господарства



02-03-113М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт»
спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННМІ
Протокол № 7 від 24.05.2022 р.

Рівне – 2022

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Марчук М. М., Стадник О. С., Пікула М. В. – Рівне : НУВГП, 2022. – 23 с.

Укладачі:

Марчук М. М., к.т.н., професор кафедри автомобілів та автомобільного господарства;

Стадник О. С., к.т.н., доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства;

Пікула М. В., старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства.

Методичні вказівки схвалено на засіданні кафедри
автомобілів та автомобільного господарства
Протокол №8 від 03 травня 2022 року

В.о. завідувача кафедри автомобілів
та автомобільного господарства

Пікула М. В.

Керівник групи забезпечення спеціальності
274 «Автомобільний транспорт»

Марчук М. М.

© М. М. Марчук,
О. С. Стадник,
М. В. Пікула, 2022
© НУВГП, 2022

ЗМІСТ

Практична робота № 1 “Формування структури магістерської роботи”	4
Практична робота № 2 “Пошук та аналіз літературних джерел за темою науково-дослідної роботи”	9
Практична робота № 3 “Обробка результатів вимірювань” ..	11
Практична робота № 4-5 “ Кореляційний та регресійний аналіз даних однофакторного експерименту”	15
Практична робота № 6-7 “Аналіз даних багатфакторного експерименту”	18

Практична робота № 1

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Мета: навчитися формулювати тему, об'єкт, предмет, мету магістерської роботи та складати план її виконання

Теоретичні відомості

1.1. Загальні відомості

Магістерський рівень є дослідницьким, тому магістерська кваліфікаційна робота повинна мати усі ознаки наукової праці з відповідним науковим результатом, який отримано у результаті вирішення актуальної наукової задачі.

Рішення поставлених у магістерській роботі задач мають встановлювати нові закономірності, що мають бути описані в наукових висновках.

Наукова задача може складатись із декількох окремих задач, що підпорядковані основній задачі поставленій у меті (рис. 1.1).

Актуальність – необхідність подолання протиріччя практики: треба щось зробити (побудувати, вирішити), але немає чим (немає інструменту, методу, технології). Актуальність є основним критерієм вибору теми магістерської роботи.

Тема – формулювання об'єкту, предмету досліджень і назви задачі, що вирішується.

Об'єкт досліджень – процес або пристрій, що породжує проблемну ситуацію (протиріччя) вирішити яку може магістрант відповідно до отриманих знань. Один об'єкт може бути предметом багатьох досліджень

Предмет – сторона об'єкту, його властивості та галузь застосування, що досліджуються у магістерській роботі.

Ідея роботи – науковий прогноз, гіпотеза, здогад про істотні взаємозв'язки між основними параметрами предмета досліджень. Сформульована ідея дозволяє визначити мету роботи та задачі досліджень для її досягнення.

Мета – запланований конструктивний результат, що дозволяє створювати кращий продукт з більш кращими показниками якості. Мета будь-якої наукової праці – визначення нових фактів, висновків, рекомендацій, закономірностей або уточнення відомих раніше, але недостатньо вивчених.

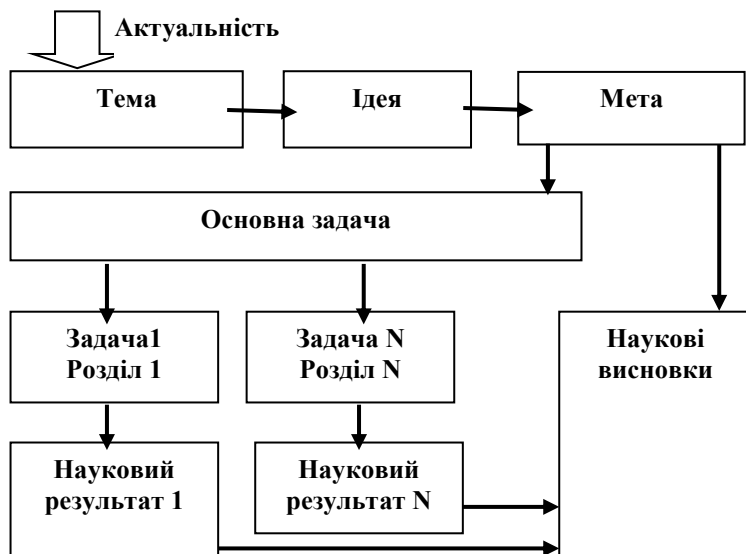


Рис. 1.1. Узагальнена структура магістерської роботи

Мету формулюють на основі висунутої ідеї роботи. Структура мети трьохкомпонентна. У *першій частині* вказують закономірності, що мають бути встановлені між параметрами чи елементами предмету досліджень. У *другій* – визначають ефект, що може бути отриманий при використанні виявлених закономірностей, а також шляхи досягнення цього ефекту. У *третьій* – подається основний практичний результат (за рахунок чого реалізується ефект), що забезпечується використанням встановлених закономірностей.

Задача досліджень визначається після формулювання мети та спрямована на виявлення зазначених у меті закономірностей. Назва задачі досліджень визначається предметом та метою.

Науковий результат – одержане знання (гіпотеза, класифікація, закон, метод, спосіб, технологія, методика, алгоритм, речовина та інші). Це головне поняття наукової роботи. Наукові результати мають задовольняти вимогам новизни, та практичної цінності.

Наукова новизна – узагальнення нових наукових результатів, що істотно значимі для науки, формулюють на базі наукових висновків, уперше встановлених автором закономірностей без розшифрування

внутрішніх зв'язків. Полягає в перетворенні відомих даних, їх зміни, розширенні та доповненні, уточненні, конкретизації, тощо.

До нових не відносять результати, одержані аналогічно опублікованих, коли зміни здійснено за рахунок використання нових значень вихідних даних.

Практична цінність – можливість використання результатів для вирішення певних інженерних задач.

1.2. Тематика магістерських робіт

Тема магістерської роботи повинна відповідати актуальним питанням у галузі автомобільного транспорту. Її обирає студент разом з керівником роботи. Тема магістерської роботи затверджується наказом ректора університету.

Редакція теми магістерської роботи повинна бути лаконічною. Формулювання має включати об'єкт, предмет та назву задачі досліджень.

1.3. Склад кваліфікаційної роботи

Склад роботи: демонстраційний матеріал для доповіді на екзаменаційній комісії та пояснювальна записка.

Демонстраційний матеріал потрібно оформляти у вигляді презентації. На першому слайді потрібно презентувати тему магістерської роботи, на другому – актуальність теми досліджень, на третьому – об'єкт, предмет, мету та задачі досліджень. На наступних слайдах подають методи вирішення задач та отримані результати. На останньому – результати досліджень, впровадження та економічний або соціальний ефект, що очікується.

1.3.1. Структура пояснювальної записки:

Титульний лист (тема, реквізити).

Завдання на магістерську роботу.

Вступ

Стан питання та постановка задач досліджень.

Теоретичні дослідження.

Експериментальні дослідження.

Економічний (соціальний) аспект.

Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях.

Висновки.

Перелік використаних джерел.

1.3.2. Вимоги до складових пояснювальної записки

Завдання на магістерську роботу відповідно до наказу оформляє керівник.

У **вступі** викладають актуальність теми, об'єкт, предмет, мету, задачі досліджень, наукову новизну та практичне значення досліджень. Також вказують інформацію про наукові публікації автора

Мету описують одним реченням. Наприклад: «Обґрунтування параметрів гальмування автомобіля на основі встановлення закономірностей роботи ABS системи, що дозволить зменшити гальмівний шлях і підвищити безпеку руху»

У **першому розділі** «Стан питання та постановка задач досліджень» обґрунтовують обрану тему та визначають основні задачі досліджень. У цьому розділі подають критичний аналіз і класифікацію напрямків досліджень у даній області, визначення протиріччя (ситуації в практичній діяльності), що є причиною не вирішення питань, ідея щодо подолання протиріччя, мету досліджень, задачі досліджень, що забезпечують вирішення основної, їх мета.

У **другому розділі** формулюють теоретичні задачі досліджень та вирішують їх відомими теоретичними методами. Сьогодні дуже часто для вирішення теоретичних задач виконують моделювання, у тому числі з використанням спеціалізованих комп'ютерних програм. Теоретичний розділ має включати постановку задачі досліджень, метод її вирішення, основні отримані результати та їх аналіз (суть наукового результату, новизна, достовірність, наукова та практична значимість).

У **третьому розділі** формулюють експериментальні задачі досліджень та вирішують їх відомими методами експериментальних досліджень. При виконанні цього розділу дуже часто виготовляють макети, моделі, пристрої для кращого дослідження суті процесу чи явища. Експериментальний розділ має включати постановку експериментальних досліджень, методику експерименту, результати та їх аналіз (суть наукового результату, новизна, достовірність, наукова та практична значимість).

У **четвертому розділі** наводять техніко-економічний розрахунок використання удосконаленого процесу чи пристрою у порівнянні з базовим (існуючим) варіантом. Якщо техніко-економічний ефект є від'ємним, тоді наводять соціальний ефект чи інші позитивні сторони.

У **п'ятому розділі** описують заходи з охорони праці при використанні удосконаленого процесу чи пристрою та заходи безпеки при надзвичайних ситуаціях на виробництві. Слід звернути увагу на електробезпеку, наявність шкідливих умов праці, та заходи з пожежної безпеки та вказати періодичність проходження інструктажів з охорони праці.

У **висновках** до роботи наводять основні наукові результати, отримані у процесі досліджень, їх переваги, наукове та практичне значення.

Перелік використаних джерел оформляють відповідно до ДСТУ 8302:2015 Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання

1.4. Вимоги до оформлення

Подаються правила, що ідентичні вимогам стандарту “ДСТУ 3008-2005. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення”.

Порядок виконання роботи

1. Сформулювати тему магістерської роботи.
2. Сформулювати об’єкт, предмет, та мету магістерської роботи.
3. Сформулювати назви основних розділів магістерської роботи.
4. Скласти план виконання магістерської роботи відповідно до форми (табл.1.2).

Таблиця 1.2

План виконання магістерської роботи

№, з/п	Назва розділу	Дата виконання	Примітка
	Вступ		
1.	Стан питання...		
2.	Теоретичні дослідження...		
3.	Експериментальні дослідження...		
4.	Економічний аспект...		
5.	Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях...		
	Список використаних джерел		
	Презентація		

Практична робота № 2

ПОШУК ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Мета: навчитися виконувати пошук та аналіз літературних джерел за темою науково-дослідної роботи.

Теоретичні відомості

Основними завданнями огляду літератури є:

- ознайомлення з матеріалами за темою наукових досліджень, їх класифікація, відбір найцікавіших досліджень, основних фундаментальних праць, найсуттєвіших результатів;

- виявлення напрямів досліджень, які викликають найбільший інтерес, ще недостатньо досліджені та могли би бути досліджені в подальшому;

- формулювання напрямів досліджень, характеристика методів та основних розділів науково-дослідної роботи;

- отримання вихідного матеріалу для написання частини наукової роботи, складання бібліографічного списку.

Серед науково-технічної інформації аналізують наукові статті, тези доповідей конференцій, монографії, патенти та іншу інформацію. При пошуку інформації рекомендовано використовувати останні публікації, переважно за 10 останніх років. Серед старіших джерел враховують найбільш значимі.

Пошук науково-технічної інформації проводять за допомогою мережі Internet з використанням спеціалізованих сайтів, баз даних та електронних каталогів. Доцільно проводити пошук за ключовими словами, або ж за допомогою інформаційно-пошукової мови – семантичної системи символів та правил їх поєднання.

Загальноприйнятою для групування усіх публікацій є універсальна десяткова класифікація документів інформації – УДК. УДК розділяє всі галузі знань на 10 розділів, кожен з яких поділяється на 10 підрозділів, а підрозділ – на 10 невеликих частин. Кожна частина може мати необхідний ступінь деталізації.

Структура УДК складається з груп основних індексів і визначників, а групи поділяють на підгрупи загальних та спеціальних визначників. Кожен індекс УДК має додаткове розділення, наприклад, УДК 625 –

транспортне будівництво, а УДК 625.122 – спорудження та ущільнення земляного полотна доріг.

Перед проведенням пошуку потрібно визначити ключові слова, УДК найближчих тем та індекси міжнародної патентної класифікації МПК за темою дослідження.

У процесі пошуку потрібно знайти найбільш близькі до теми монографії, наукові статті, тези доповідей конференцій, патенти, електронні публікації сайтів, навчальні посібники та підручники. Не слід надавати перевагу публікаціям сайтів, навчальним посібникам та підручникам, оскільки в цих джерелах часто наводять рекламну та навчально-методичну інформацію, яка не відображає науковий рівень розвитку теми, що досліджується.

Методика виконання патентного пошуку наведена у методичних вказівках до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи патентознавства» (шифр 02-03-14).

Для пошуку інформації використовують такі ресурси мережі Internet:

www.google.com;

<https://scholar.google.com.ua>;

<https://ukrpatent.org>;

<https://www.uspto.gov/patents/search>;

<http://www.nbu.gov.ua>.

Після пошуку літературних джерел потрібно оформити бібліографічний список – відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання»

Приклади оформлення посилань на монографію та навчальний посібник:

Гевко Б. М., Колесник О. А., Марчук М. М. Науково-прикладні основи проектування піднімально-транспортних лебідок : монографія. Рівне : НУВГП, 2016. 197 с.

Василь Попович, Віталій Попович. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник. Львів : Світ, 2006. 624 с.

Приклад оформлення посилання на наукову статтю:

Колесник О. А., Стадник О. С. Розробка способу зниження токсичності викидних газів автобусів з дизельними двигунами. *Вісник НУВГП* : зб. наук. праць. Вип. 2 (86). Рівне, 2019. С. 238–248.

Назву збірника наукових праць вказують курсивом

Приклад оформлення посилання на тези доповіді конференції:

Стадник О. С., Корж І. І., Кнап Є А. Аналіз залежності ціни вживаних автомобілів марок Daewoo Lanos і Dacia Sandero від технічних та експлуатаційних показників. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : збірник тез II Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції (Рівне, 25–27 березня 2020 р.). Рівне, 2020. С. 143–145.

Назву конференції вказують курсивом.

Приклад оформлення посилання на патент:

Пристрій для відцентрової обробки деталей: пат. 143345 Україна, МПК В24В 31/06; № u2020 00477; заявл. 27.01. 2020; опубл. 27.07. 2020, Бюл. № 14.

Порядок виконання роботи

1. За темою науково-дослідної (магістерської) роботи визначити ключові слова для пошуку інформації, найближчі УДК та індекси міжнародної патентної документації (МПК). Перекласти ключові слова на англійську мову.

2. Використовуючи ключові слова, УДК та МПК знайти 15 джерел за темою науково-дослідної роботи. Серед джерел мають бути, як мінімум 3 джерела на іноземній мові та 3 патенти

3. Оформити бібліографічний список знайдених джерел відповідно до ДСТУ 8302:2015.

Практична робота № 3 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

Мета: навчитися виконувати розрахунки статистичних характеристик результатів вимірювань, зокрема будувати криву густини розподілу отриманих результатів вимірювань

Теоретичні відомості

В основі теорії випадкових похибок лежать два припущення, підтверджені експериментально: 1) остаточно похибка будь-якого вимірювання є результатом великої кількості малих похибок, розподілених випадковим чином; 2) позитивні і негативні відхилення

щодо істинного значення вимірюваної величини рівноймовірні, причому великі похибки зустрічаються рідше, ніж малі.

Ці дві посилки дають можливість вважати, що похибки розподіляються відповідно до нормального закону розподілу Гауса

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.1)$$

де x – вимірювана величина; $P(x)$ – густина розподілу, що характеризує імовірність деякого відхилення x від його математичного очікування m_x (тобто від істинного значення), яке рівне середньому значенню величини $x_{cp.}$; σ – середньоквадратичне відхилення.

Середнє значення $x_{cp.}$ та середньоквадратичне відхилення σ визначають за формулами

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp.})^2}, \quad (3.2)$$

$$x_{cp.} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.3)$$

Параметр σ («сигма») ще називають **середньою квадратичною похибкою вимірювання**, а її квадрат – **дисперсією похибки**. Параметр σ ($\sigma > 0$) характеризує значення похибки.

Імовірність попадання випадкової помилки в симетричний інтервал $(x_{cp.} - \Delta x, x_{cp.} + \Delta x)$ при нормальному законі розподілу визначають за формулою

$$P(x_1 < x_{ист} < x_2) = 2\Phi(t), \quad (3.4)$$

де

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (3.5)$$

$$t = \frac{\Delta x}{\sigma} = \frac{x_i - x_{cp.}}{\sigma}, \quad (3.6)$$

Функцію $\Phi(t)$ називають **інтегралом ймовірностей**, її значення наведені в табл. 3.1. У цій таблиці значення $\Phi(t)$ наведені лише для позитивних значень аргумента; для негативних значень аргумента функція $\Phi(t)$ продовжується непарним чином: $\Phi(-t) = -\Phi(t)$.

Таблиця 3.1

Значення інтегралу ймовірностей $\Phi(t)$

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,1	0,0398	1,1	0,3643	2,1	0,4821	3,1	0,49903	4,1	0,499979
0,2	0,0793	1,2	0,3849	2,2	0,4861	3,2	0,49931	4,2	0,499987
0,3	0,1179	1,3	0,4032	2,3	0,4893	3,3	0,49952	4,3	0,499991
0,4	0,1554	1,4	0,4192	2,4	0,4918	3,4	0,49966	4,4	0,499995
0,5	0,1915	1,5	0,4332	2,5	0,49379	3,5	0,499767	4,5	0,4999966
0,6	0,2257	1,6	0,4452	2,6	0,49534	3,6	0,499841	4,6	0,4999979
0,7	0,2580	1,7	0,4554	2,7	0,49653	3,7	0,499892	4,7	0,4999987
0,8	0,2881	1,8	0,4641	2,8	0,49744	3,8	0,499927	4,8	0,4999992
0,9	0,3159	1,9	0,4713	2,9	0,49813	3,9	0,499952	4,9	0,4999995
1,0	0,3413	2,0	0,4772	3,0	0,49865	4,0	0,499968	5,0	0,4999997

Для отримання густини нормального розподілу можна використати функцію Excel з таким синтаксисом:

$\text{НОРМ.РАСП}(x; x_{\text{ср.}}; \sigma; \text{інтегральна})$,

де x ; – аргумент для якого потрібно знайти значення нормального розподілу; $x_{\text{ср.}}$ – середнє значення величини у масиві даних; σ – середньоквадратичне відхилення величини у масиві даних; «інтегральна» – логічне значення, якщо ставимо 1, то отримаємо значення інтегральної функції розподілу, якщо вказуємо 0 то отримаємо функцію густини розподілу.

Порядок виконання роботи

1. За отриманими результатами вимірювань витрати палива автомобіля на 100 км (табл. 3.2) визначити середнє значення та середньоквадратичне відхилення.

2. Побудувати гістограму густини розподілу вимірювань витрати палива автомобіля.

3. Побудувати теоретичну криву густини розподілу вимірювань витрати палива автомобіля як випадкової величини.

4. Припустимо, ми виконали перші три досліди при визначенні витрат палива автомобіля відповідно до табл. 3.2. Розрахувати яку мінімальну кількість дослідів потрібно виконати щоб досягнути похибки 0,3 л на 100 км.

Таблиця 3.2

Результати вимірювань витрати палива автомобілем на 100 км

№ досл.	№ варіанту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	7,6	8,5	12	12,5	13	14,5	14	14,5	15	16,5
2	5,5	6,6	10,1	11,2	12,3	13,4	12,1	13,2	14,3	15,4
3	7	8,3	9,8	10,9	13,5	13,1	11,8	12,9	15,5	15,1
4	7	8,1	11,6	12,7	13,8	14,9	13,6	14,7	15,8	16,9
5	7,3	8,4	11,9	13	14,1	15,2	13,9	15	16,1	17,2
6	5,5	6,6	10,1	11,2	12,3	14,6	12,1	13,2	14,3	16,6
7	7,4	8,5	12	13,1	14,2	15,3	14	15,1	16,2	17,3
8	6	7,1	10,6	11,7	12,8	13,9	12,6	13,7	14,8	15,9
9	5,5	6,6	10,1	11,2	12,3	13,4	12,1	13,2	14,3	15,4
10	6	7,1	10,6	11,7	12,8	13,9	12,6	13,7	14,8	15,9
11	6,3	7,4	10,9	12	13,1	14,2	12,9	14	15,1	16,2
12	6,2	7,3	10,8	11,9	13	14,1	12,8	13,9	15	16,1
13	5,4	6,5	10	11,1	12,2	13,3	12	13,1	14,2	15,3
14	6,8	7,9	11,4	12,5	13,6	14,7	13,4	14,5	15,6	16,7
15	6,3	7,4	10,9	12	13,1	14,2	12,9	14	15,1	16,2
16	6,3	7,4	10,9	12	13,1	14,2	12,9	14	15,1	16,2
17	6,6	7,7	11,2	12,3	13,4	14,5	13,2	14,3	15,4	16,5
18	6,1	7,2	10,7	11,8	12,9	14	12,7	13,8	14,9	16
19	6,3	7,4	10,9	12	13,1	14,2	12,9	14	15,1	16,2
20	6,7	7,8	11,3	12,4	13,5	14,6	13,3	14,4	15,5	16,6
21	6,8	7,9	11,4	12,5	13,6	14,7	13,4	14,5	15,6	16,7
22	6,1	7,2	10,7	11,8	12,9	14	12,7	13,8	14,9	16
23	6,3	7,4	10,9	12	13,1	14,2	12,9	14	15,1	16,2
24	6,3	7,4	10,9	12	13,1	14,2	12,9	14	15,1	16,2
25	6,5	7,6	11,1	12,2	13,3	14,4	13,1	14,2	15,3	16,4
26	6,3	7,4	10,9	12	13,1	14,2	12,9	14	15,1	16,2
27	6,6	7,7	11,2	12,3	13,4	14,5	13,2	14,3	15,4	16,5
28	6,5	7,6	11,1	12,2	13,3	14,4	13,1	14,2	15,3	16,4
29	6,4	7,5	11	12,1	13,2	14,3	13	14,1	15,2	16,3
30	7,2	8,5	10	11,1	12,2	13,3	12	13,1	14,2	15,3

Практична робота № 4–5 КОРЕЛЯЦІЙНИЙ ТА РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ ОДНОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Мета: навчитися виконувати кореляційний аналіз та підбирати лінійне рівняння регресії експериментальних даних однофакторного експерименту.

Теоретичні відомості

Про наявність або відсутність зв'язку між двома випадковими величинами у першому наближенні судять по кореляційному полю.

Для характеристики тісноти зв'язку між величинами X і Y використовують безрозмірну величину – коефіцієнт кореляції r_{xy} , що змінюється у межах $-1 \leq r_{xy} \leq 1$. Позитивна кореляція між випадковими величинами характеризує таку імовірнісну залежність між ними, коли при зростанні однієї друга у середньому теж буде зростати. Негативна кореляція характеризує залежність, коли при зростанні однієї випадкової величини друга у середньому зменшуватиметься. Величина коефіцієнта кореляції визначає тісноту зв'язку між випадковими величинами: чим ближче до 1 значення $|r_{xy}|$, тим тісніше статистичний зв'язок. Близьке до нуля значення r_{xy} свідчить про відсутність лінійного зв'язку. Залежність тісноти зв'язку між двома масивами лінійних даних відповідно до значення коефіцієнта кореляції наведено у табл. 4.2

Таблиця 4.2

Залежність тісноти зв'язку між двома масивами лінійних даних
відповідно до значення коефіцієнта кореляції

$ r =0$	кореляція відсутня
$0 < r < 0,2$	кореляція відсутня дуже слабкий
$0,2 < r < 0,4$	слабкий взаємозв'язок
$0,4 < r < 0,7$	середній взаємозв'язок
$0,7 < r < 0,99$	сильний статистичний взаємозв'язок
$ r = 1$	функціональний взаємозв'язок

Коефіцієнт парної кореляції визначають за однією з формул:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n S_{\bar{x}} S_{\bar{y}}}, \quad (4.1)$$

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (4.2)$$

$$r_{xy} = \frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i y_i) \right) - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_{\bar{x}} S_{\bar{y}}}. \quad (4.3)$$

де n – число вимірювань $S_{\bar{x}}$ і $S_{\bar{y}}$ – середньоквадратичні відхилення:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2} \quad \text{і} \quad S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2}. \quad (4.4)$$

Надійність статистичних характеристик слабшає зі зменшенням обсягу вибірки. Принципово можливі випадки, коли відхилення отриманої величини коефіцієнта кореляції від нуля виявляється статистично незначимим. Зв'язок можна вважати достовірним, якщо:

$$|r| \geq t S_r, \quad (4.5)$$

де r – абсолютне значення коефіцієнта кореляції; t – критерій Ст'юдента; S_r – середньоквадратична помилка коефіцієнта кореляції:

$$S_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}. \quad (4.6)$$

Критерій надійності коефіцієнта кореляції:

$$\mu = |r| / S_r. \quad (4.7)$$

Якщо $\mu > 2,6$, зв'язок між змінними вважається значимим.

Аналітичний вираз лінійного рівняння регресії з одним параметром має вигляд:

$$y = b_1 x + b_0. \quad (4.8)$$

Параметри рівняння регресії визначають з використанням методу найменших квадратів за формулами:

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \quad (4.9)$$

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - b_1 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (4.10)$$

Точність апроксимації оцінюється залишковою дисперсією S_{ad}^2 , яка визначається помилкою вимірювання величини y при кожному значенні x і, відповідно, не повинна суттєво відрізнятись від дисперсії відтворюваності y $S_{відтв}^2$.

Величиною оцінки значимості рівняння регресії є критерій Фішера, який визначається за формулою:

$$F = S_{ad}^2 / S_{(\bar{y})}^2 \leq F_{P, f_1, f_2}, \quad (4.11)$$

де $S_{\bar{y}}^2$ – розсіювання відносно середньоарифметичного;

$$S_{(\bar{y})}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \text{середній квадрат відхилень (по ординаті)}$$

точок кореляційного поля від лінії $\bar{y} = C$;

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n [y_i - \phi(x_i)]^2 - \text{середній квадрат відхилень (по}$$

ординаті) точок кореляційного поля від емпіричної лінії регресії.

F_{P, f_1, f_2} – табличне значення критерію Фішера.

Порядок виконання роботи

1. За даними залежності ціни автомобіля від пробігу в (табл. 4.1) побудувати графік.

2. Визначити коефіцієнт кореляції залежності ціни автомобіля від його пробігу та перевірити його значимість

3. Визначити коефіцієнти лінійного рівняння регресії для залежності ціни автомобіля від пробігу. Перевірити значимість отриманого рівняння регресії за критерієм Фішера.

4. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 4.1

Вихідні дані для виконання практичної роботи № 4-5

Пробіг автомобіля, тис. км	№ варіанту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Ціна автомобіля, тис. USD									
1,1	10	13,5	17	20,5	24	27,5	31	34,5	38	41,5
5,8	10,4	13,9	16,7	20,4	27,4	30,8	31,5	39,7	42,9	40,9
12	10,5	14,6	18,1	19,8	25,7	29,6	31,4	34,1	43,7	45,7
19	10,5	13,6	18,3	22,6	26,6	29,7	30,8	35,7	38,8	41,1
27	10,9	13,4	18,6	22,5	25,9	27,9	34,1	33,5	40,8	38,6
34	9,0	12,2	15,9	20,8	26,3	28,4	31,2	35,6	37,0	38,9
44	9,8	12,6	17,3	19,6	21,3	26,7	27,7	31,5	32,8	36,6
55	8,1	12,6	16,4	20,3	19,6	22,4	28,0	33,9	34,3	39,7
63	8,4	12,2	13,3	18,6	19,5	21,7	24,9	32,1	36,5	36,4
70	8,9	12,2	13,2	17,3	20,7	22,7	25,7	32,2	30,3	35,0
78	7,4	11,6	14,5	15,4	19,0	21,7	23,3	28,5	31,6	37,5
99	6,7	10,8	11,2	15,4	16,7	20,7	24,6	24,2	28,8	28,2
120	6,1	8,0	12,1	13,1	16,0	19,1	19,0	22,6	26,9	27,5
160	4,5	6,0	9,3	9,6	13,2	15,9	17,9	17,6	20,1	23,4
220	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Практична робота № 6–7

АНАЛІЗ ДАНИХ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Мета: навчитися обробляти дані багатofакторного експерименту, розраховувати коефіцієнти рівняння регресії, перевіряти їх значимість та значимість отриманого рівняння регресії

Теоретичні відомості

У повному факторному експерименті (ПФЕ) для кожного фактора вибирають визначене число рівнів і потім здійснюють усі можливі їхні комбінації. У факторних експериментах варіюють одночасно усіма змінними. Недоліком ПФЕ є необхідність постановки великого числа дослідів, тому що з ростом числа факторів число дослідів зростає за ступенем показника:

$$N = k^n, \quad (6.1)$$

де N – число дослідів; k – число рівнів кожного фактора; n – число факторів.

При заповненні матриці керуються правилом: частота зміни знака (рівня) кожного наступного фактора удвічі менша попереднього. Якщо в матриці перебрані всі можливі комбінації значень факторів, то матриця подає повний факторний експеримент ПФЕ.

Наприклад: матриця повного факторного експерименту при трьох факторах наведена у табл. 6.1, відповідно число рядків матриці – $N = 2^3 = 8$. У матриці умовно не показані числа «1» (але вони там присутні).

Перед реалізацією матриці планування задаються основними рівнями факторів (у натуральних одиницях: %, г/л, кг/т і т.д.) та інтервалами варіювання для кожного фактора. Основний рівень позначають: X_{oi} , інтервал варіювання – Δx . Кодове позначення основного, верхнього і нижнього рівнів відповідно «0», «+1» і «-1».

Таблиця 6.1

Повний факторний експеримент для трьох незалежних змінних (планування типу 2^3)

№ дослідів	Фактори			Параметр оптимізації
	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	-	-	-	y ₁
2	+	-	-	y ₂
3	-	+	-	y ₃
4	+	+	-	y ₄
5	-	-	+	y ₅
6	+	-	+	y ₆
7	-	+	+	y ₇
8	+	+	+	y ₈

Зв'язок між кодовим і натуральним виразом фактору задається формулою

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\delta_i}, \quad (6.2)$$

де x_i – натуральне значення фактору; x_{i0} – значення і-го фактору на нульовому рівні; δ_i – інтервал варіювання і-го фактору.

Для зручності використовують таблицю кодування факторів (приклад – табл. 6.2).

Після отримання рівняння регресії фактори розкодовують виконавши заміну закодованих факторів підстановкою числових значень x_0 та δ_i .

Таблиця 6.2

Таблиця кодування факторів (приклад)

Інтервал варіювання та рівні факторів	X ₁	X ₂	X ₃
Назва фактору	Коефіцієнт навантаження двигуна	Компресія, МПа	Октанове число
Нульовий рівень x_0	50	10	95
Інтервал варіювання δ	20	2	3
Нижній рівень X=-1	30	8	92
Верхній рівень X=+1	70	12	98

Функція відгуку представлена поліномом першого порядку з урахуванням взаємодій факторів:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

Без урахування взаємодії факторів функція відгуку має вигляд:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3.$$

Завдяки ортогональності планів ПФЕ, їхньої симетричності коефіцієнти рівняння регресії визначаються за формулами:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \bar{y}_u, \quad (6.3)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \bar{y}_u x_{iu}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (6.4)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \bar{y}_u x_{iu} x_{ju}, \quad (6.5)$$

$$b_{ijk} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \bar{y}_u x_{iu} x_{ju} x_{ku}, \quad (6.6)$$

де x_{ijk} – елементи матриці планування (+1 або -1), в якій i, j – номери факторів; u – номер досліджу.

Різні знаки при коефіцієнтах свідчать про те, що вплив одного коефіцієнту слабшає при зростанні другого. Якщо коефіцієнти мають один знак, то одночасна зміна факторів більше впливає на функцію відгуку, ніж індивідуальна зміна кожного фактору.

Гіпотезу про однорідність вибірових дисперсій відтворюваності перевіряють за критерієм Кохрена $G_{табл.}$ зі ступенями свободи $f_1 = m - 1$ (m – число дослідних даних у кожній серії дослідів), $f_2 = N$ і мірою ризику α .

$$G = \frac{S_{y \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_y^2} < G_{табл.}, \quad (6.7)$$

Якщо умова виконується гіпотеза про однорідність (рівність вибірових дисперсій одна одній) не відкидають.

Дисперсію відтворюваності зі ступенем свободи f визначають за формулою:

$$S_{відм}^2 = \left(\sum_{i=1}^n S_y^2 \right) / N, \quad (6.8)$$

У випадку неприйняття гіпотези про однорідність оцінки дисперсій відтворюваності можна збільшити число паралельних дослідів для варіантів варіювання з більшими значеннями вибірових дисперсій або визнати невідтворюваність експерименту.

Значимість коефіцієнтів регресії перевіряють за допомогою критерію Ст'юдента. Коефіцієнт значимий, якщо:

$$t_{табл.} \leq t = \frac{|b_i|}{S_{bi}} = \frac{|b_i|}{S_{відм} / \sqrt{N}}. \quad (6.9)$$

Після виключення незначимих коефіцієнтів перевіряють адекватність моделі – з'ясовують співвідношення між дисперсією адекватності $S_{ад}^2$ і дисперсією відтворюваності дослідних даних S^2 .

Дисперсія адекватності $S_{ад}^2$ характеризує розсіяння результатів спостережень поблизу рівняння регресії, що оцінює істинну функцію відгуку:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{m(N-d)} \sum_{u=1}^N (y_u - \bar{y}_u)^2, \quad (6.10)$$

де m – число паралельних дослідів; d – число оцінюваних параметрів в рівнянні регресії. Дисперсія адекватності оцінюється з $f = N - d$ ступенями свободи.

Якщо S_{ad}^2 не перевищує похибки експерименту, оцінкою якої є S^2 , то вважається, що модель адекватна, а якщо $S_{ad}^2 > S^2$, то модель не можна вважати придатною. Адекватність перевіряється за критерієм Фішера з рівнем значимості $1-\alpha$ і ступенями свободи $f_1 = N - d$ і $f_2 = N(m - 1)$:

Якщо відношення

$$F = S_{ad}^2 / S^2 < F_{кр}, \quad (6.11)$$

модель визначають адекватною. У випадку неприйняття гіпотези про адекватність моделі переходити до розгляду більш складної моделі не слід, доцільніше, якщо це можливо, провести експеримент з меншим інтервалом варіювання факторів.

Порядок виконання роботи

1. За даними повнофакторного експерименту (табл. 6.3) дослідження залежності витрат палива легкового автомобіля з бензиновим інжекторним двигуном у від коефіцієнта навантаження двигуна x_1 , компресії x_2 та октанового числа бензину x_3 (табл. 6.2) визначити коефіцієнти рівняння регресії та перевірити їх значимість за критерієм Ст'юдента. Для кодування факторів використати таблицю 6.2. Взаємодію факторів не враховувати.

2. Перевірити значимість рівняння регресії за критеріями Кохрена та Фішера.

3. Визначити рівняння регресії у натуральних показниках (розкодувати рівняння)

4. Виконати завдання п. 1 матричним методом.

Таблиця 6.3

Вихідні дані для виконання практичної роботи

Значення у	№ варіанту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Витрати палива на 100 км									
у ₁	6	7	6	6	6,5	6	6	7	6,3	6
у ₂	11	12	12	12	12	12	11	12	12	12
у ₃	5,5	6,5	5,5	5,5	6,3	5,5	5,5	6,5	6	5,5
у ₄	10	11	11	10	11	10,5	10,5	10,5	11	10
у ₅	5,3	6,3	5,3	5,3	6,3	5,3	5,3	6,3	5,3	5,3
у ₆	9,5	10,5	10,5	8,5	11,5	10,5	9,8	10,8	10,5	8,5
у ₇	4,8	5,8	4,8	4,8	5,8	4,8	4,8	5,8	4,8	4,8
у ₈	9,0	10,0	10,0	9,0	10,0	10,0	9,0	10,0	10,0	9,8

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Методологія наукових досліджень (на прикладах автомобільного транспорту) : навчальний посібник / Волков В. П., Подригало М. А., Кравченко О. П., Міщенко В. М., Мармуг І. А. Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2009. 352 с.

2. Тимейчук О. Ю., Кузьменко В. М., Тимейчук Т. Б. Інформаційні системи та математичні методи наукових досліджень : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2011. 118 с.

3. Лисюк Г. М., Шидакова-Каменюка О. Г., Самохвалова О. В., Неміріч О. В., Дьяков О. Г. Основи наукових досліджень і технічної творчості : навчальний посібник. За ред. Г. М. Лисюк. Х.: ХДУХТ, 2014, 202 с.

4. Соловйов С. М. Основи наукових досліджень: навчальний посібник. К. : Центр учбової літератури, 2007. 176 с.