



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
" КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО "**

А.Р. Степанюк, С.В. Гулієнко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**ДО РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ
З ДИСЦИПЛІНИ**

“ТЕОРІЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ТЕХНІКА ВИМІРЮВАНЬ”

**за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки
та**

**за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки
«Моделювання процесів та обладнання підготовки середовищ та отримання
біотехнологічних матеріалів»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
ступеня «магістр»**

**ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 13 «Механічна інженерія»
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 133 «Галузеве машинобудування»
СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування
обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв**

КИЇВ 2017

Методичні вказівки до розрахункової роботи з дисципліни «Теорія експерименту та техніка вимірювань» для за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки та за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки «Моделювання процесів та обладнання підготовки середовищ та отримання біотехнологічних матеріалів» другого (магістерського) рівня вищої освіти ступеня «магістр» ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 13 «Механічна інженерія» СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 133 «Галузеве машинобудування» СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв : [Електронний ресурс] / А. Р. Степанюк, С.В. Гулієнко; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 26 с.

*Гриф надано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 8 від 23 жовтня 2017 р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

Відповідальний редактор Корнієнко Я.М., професор, д.т.н.

Рецензент:

Сокольський Олександр Леонідович, доцент, к.т.н.

Навчальне видання

Степанюк Андрій Романович, к.т.н., доц. кафедри МАХНВ
Гулієнко Сергій Валерійович, к.т.н., ст. викл. кафедри МАХНВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ

«ІНЖИНІРИНГ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ
ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»

“Теорія експерименту та техніка вимірювань”

Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування

Спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

Зміст

| | |
|---|----|
| Вступ | 4 |
| 1 Мета та завдання розрахункової роботи | 4 |
| 2 Завдання на розрахункову роботу | 5 |
| 3 Склад, обсяг і структура розрахункової роботи | 5 |
| 4 Вказівки до виконання розділів розрахункової роботи | 5 |
| 4.1 Структура роботи | 9 |
| 4.2 Вимоги до форматування | 10 |
| 4.3 Виклад тексту розрахункової роботи | 11 |
| 4.4 Оформлення розрахунків | 11 |
| 4.5 Оформлення додатків | 14 |
| 5 Рекомендації до виконання графічної частини роботи | 14 |
| 6 Вказівки щодо порядку захисту роботи | 15 |
| 7 Список рекомендованої літератури | 15 |
| Додаток А | 17 |
| Приклад виконання розрахункової роботи | |

Вступ

Шлях до впровадження у виробництво наукових розробок лежить через розрахунки та створення конструкторської документації. Розробка такої документації це творчий процес, який потребує від проектувальника не тільки глибоких знань дисциплін, що викладаються у ВУЗі, але й уміння використовувати їх при проектуванні та в умовах виробництва. Від якості конструкторської документації, як правило, залежить кінцевий результат наукової розробки, доля нових машин і апаратів.

Методичні вказівки складено у відповідності до ГОСТ 2.105-95.

1 Мета та завдання розрахункової роботи

Мета розрахункової роботи полягає в тому, щоб навчити студентів сучасним методам планування та аналізу результатів фізичного та хіміко-технологічного експерименту, пов'язаного з такими основними процесами як адсорбція, ректифікація, екстракція, кристалізація, тощо. Матеріал лекцій спрямовано на вивчення статистичних методів планування та аналізу при дослідженні технологічних процесів та розробці нових матеріалів. Тут також демонструються величезні можливості експериментально-статистичного моделювання в різних областях людської діяльності, а саме, для розв'язування соціальних та екологічних проблем. У задачі дисципліни входить надання основних знань з прикладної бази та умінь математичного планування та проведення інженерного експерименту.

Задачі розрахункової роботи:

- розробляти плани експерименту,
- проводити експеримент;
- проводити вимірювання фізичних величин різними методами;

- правильно вибрати і проводити необхідний розрахунок методу і засобів вимірювання;
- проводити оцінку точності результатів вимірювань;
- застосовувати основні методи підвищення точності вимірювань;

2 Завдання на розрахункову роботу

Завдання видається кожному студенту особисто протягом перших двох тижнів навчання. Перелік завдань розрахункових робіт наведено в робочій навчальній програмі дисципліни.

Текст завдання підписується студентом, який буде виконувати розрахункову роботу та керівником.

Перелік завдань розміщено у Додатку Б.

3 Склад, обсяг і структура розрахункової роботи

Розрахункова робота складається з розділів, перелік яких визначається керівником у завданні для виконання розрахункової роботи (Додаток А). Орієнтовний обсяг пояснювальної записки 15...25 аркушів формату А4.

4 Вказівки до виконання розділів розрахункової роботи

При виконанні розділів, необхідно звернути увагу на:

Розділ «**Вступ**».

У вступі коротко надається інформація про актуальність обладнання теплового процесу, що буде розраховуватись. Далі у відповідності до змісту роботи ставляться мета та задачі розробки.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «Завдання»

У розділі наводиться завдання з вказівкою величин цифрами, відповідно до варіанту та схема трубопроводів до розрахунку насоса з довжинами трубопроводів (Приклад 1).

Приклад 1

Завдання

Розрахувати і підібрати відцентровий насос для подачі $G=5,0$ т/год розчину гідроксиду натрію, концентрацією $x=10$, %, з ємності 1, що працює під атмосферним тиском ($p_1=0,1$ МПа)...

... Далі наводиться схема ...

Розділ «Розрахунки»

У пояснювальній записці наводяться всі розрахунки згідно алгоритму розрахунку.

У висновках наводяться параметри вибраного насосу. Приблизний обсяг розділу – 15...20 аркушів.

Підрозділ «Висновки»

У висновку наводяться аналіз результатів розрахунку. Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

3.4 Структура пояснювальної записки

Пояснювальна записка виконується згідно вимог ГОСТ 2.105-95.

Пояснювальна записка для курсового проекту розпочинається титульним листом з надписом „Розрахункова робота”(додаток А), наступним аркушем є „Завдання” (додаток Б). Далі розміщується аркуш з заголовком „Зміст” (додаток В). Позиція у основному надписі розрахункової роботи, позначена ХХХ – це номер варіанта, (наприклад 002).

3.5 Вимоги до форматування пояснювальних записок

Текст пояснювальної записки розділяють на розділи і підрозділи, відповідно до змісту.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах усього документа (частини), позначені арабськими цифрами з крапкою. Підрозділи повинні мати нумерацію в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номерів розділів або підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номера розділу або підрозділу крапка не ставиться. Розділи, як і підрозділи, можуть складатися з декількох пунктів.

Найменування розділів повинні бути короткими. Найменування розділів і підрозділів записують у вигляді заголовків з абзацу прописними літерами (окрім першої великої літери) напівжирним форматом літер (Приклад 2). Використання курсивного форматування, підкреслення та переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Розташовувати назву розділу, підрозділу та тексту на різних сторінках забороняється.

Відстань між заголовком розділу або підрозділу і текстом повинна бути у 3 інтервали. Відстань між заголовками розділу і підрозділу – 1,5 інтервали. Кожен розділ пояснювальної записки починають з нового листа (сторінки). Відстань

між попереднім підрозділом та наступним заголовком підрозділу повинна бути 3 інтервали.

Нумерація сторінок повинна бути наскрізна для всієї записки, включаючи додатки.

Приклад 2 Оформлення заголовку

2 Гідравлічний розрахунок і вибір насосів

2.1 Вибір діаметра трубопроводу

Мета розрахунку

3.6 Виклад тексту розрахункової роботи

Повне найменування назви розрахункової роботи на титульному листі, в основному написі і при першому згадуванні в тексті документа повинне бути однаковим з найменуванням його в основному конструкторському документі (специфікації). Найменування, що наводяться в тексті пояснювальної записки і на ілюстраціях, повинні бути однаковими.

3.7 Оформлення розрахунків

Необхідні розрахунки апаратів визначаються керівником. **Всі величини подаються в системі СІ.** В кожному підрозділі розрахунок складається за такою схемою (Приклад 3):

1. Мета розрахунку з вказівкою, що потрібно визначити.
2. Розрахункова схема або ескіз виробу (у довільному масштабі).
3. Вхідні данні.
4. Умови розрахунку.
5. Розрахунок.

6. Висновки, відповідно до мети.

При наведенні алгоритмів та комп'ютерних програм матеріал викладається у такій послідовності (Приклад 4):

1. Опис математичної моделі та алгоритм розрахунку.
2. Алгоритмічна-схема та її опис.
3. Данні для розрахунку.
4. Програма.
5. Результати розрахунку на ЕОМ.
6. Висновки за результатами розрахунку на ЕОМ.

Алгоритмічна-схема, її опис та програма виносяться у додаток.

Приклад 3

2.1 Вибір діаметра трубопроводу

Метою розрахунку - є визначення діаметру трубопроводу та підбір стандартного діаметру.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.4.

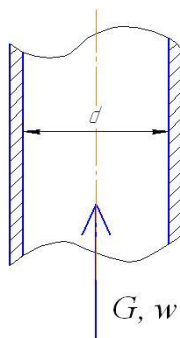


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема до визначення діаметру трубопроводу

Вихідні дані:

продуктивність, кг/с, G

8,2

.....

Розрахунок ведемо по методиці, приведеній в [12].

Вибираємо швидкість у трубопроводах, приймаємо, що швидкість у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах однакова і дорівнює 0,8 м/с.

Визначаємо попередньо діаметр трубопроводу, за залежністю:

$$\dots d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} \dots$$

.....

Висновок: Приймаємо стандартний трубопровід, діаметром 51 мм:

Приклад 4

Метою розрахунку - є визначення діаметру трубопроводу та підбір стандартного діаметру.

... далі наводяться початкові данні, посилання на розрахункову схему, розрахункова схема та посилання на авторів алгоритму розрахунку. ...

... –Подається алгоритм розрахунку... :

Вибираємо швидкість у трубопроводах, приймаємо, що швидкість у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах однакова і дорівнює 0,8 м/с.

Визначаємо попередньо діаметр трубопроводу, за залежністю:

$$\dots d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} \dots$$

Алгоритмічна-схема та її опис знаходиться в додатку А, таблиці ідентифікаторів знаходиться в додатку Б, програма розрахунку (на на одній з мов MathCad, Matlab, Delphi, Python) знаходиться в додатку В.

... Наводяться результати розрахунку...

Висновок: Приймаємо стандартний трубопровід, діаметром 51 мм:

3.8 Рекомендації щодо порядку захисту розрахункової роботи

Зброшурована пояснювальна записка повинна містити усі необхідні розрахунки.

Розрахункова робота захищається після перевірки на керівником розрахункової роботи всіх розділів, про що свідчать підпис керівника на титульному аркуші пояснювальної записки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. М.С.Винарський, М.В. Лур'є. Планування експерименту в технологічних дослідженнях.- Київ: Техніка, 1975 р. – 168 с.

2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. -М.:Наука, 1976.

3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановський Ю.В. Планування експеримента при пошуку оптимальних умов. Програмоване введення в планування експеримента. М., «Наука», 1971.

4. Нові ідеї в плануванні експеримента. Під редакцією В.В.Налімова. М., «Наука», 1969.

5. Макаркин Н.П., Сажін Ю.В., Івенін Е.Н. Статистичні методи дослідження виробничих процесів. Учбова допомога. Видавництво Саратовського університету. Саранський філіал.,1989.

6. Боровиков В.П., Боровиков И.П. Статистичний аналіз і обробка даних в середовищі WINDOWS. М.,1997.

7. Боровіков В.П. Популярне введення в програму STATISTICA. Комп'ютер Прес, м., 1998.

8. Вячеслав Дюк. Обробка даних на ПК в прикладах. Москва-Харьков-Минськ, 1997.

9. Калайда В.Т. Планирование эксперимента. Методы обработки результатов эксперимента и основы математической теории планирования эксперимента. Учебное пособие Томск: Из-во Томского университета, 1997.

10. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. Квазиправдоподобные оценки.- М.: Радио и связь, 1983.

11. Лбов Г.С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных. – Новосибирск: Наука, 1981.

12. Денисов В.И., Попов А.А. Пакет программ оптимального планирования эксперимента М.: Финансы и статистика, 1986

13. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М., 1974.

14. Налимов В.В. Теория эксперимента. М., 1971.

15. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М., 1977.

Додаток А.

Зразок титульного листа розрахункової роботи

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

з кредитного модуля:

**ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ – 1.
БАЗОВІ ПРИНЦИПИ ТЕОРІЇ ТЕПЛОМАСООБМІНУ**

на тему: **ТЕОРІЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ТЕХНІКА ВИМІРЮВАНЬ**

Студента(ки) VI курсу, групи ЛНм-61

Іванова Івана Івановича

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Спеціалізація Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

Керівник доцент, к.т.н., Степанюк А. Р.

Національна оцінка _____

Кількість балів: _____ оцінка: ECTS _____

Члени

комісії:

_____ (вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Студент _____ І.І. Іванов

Київ 2017

Додаток Б.

Завдання до розрахункової роботи №1

Планування експериментів. Повний факторний експеримент. Побудова матриці планування.

Завдання:

Визначається вплив на ефективність вловлювання температури, тиску та концентрації на вході. Границі варіювання представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Рівні варіювання параметрів

| Параметр | Верхній рівень | Нижній рівень |
|---------------------------|---------------------|---------------------|
| Температура, °С | $40+1 \cdot n$ | $120+2 \cdot n$ |
| Тиск, МПа | $0,2+0,01 \cdot n$ | $0,8+0,02 \cdot n$ |
| Концентрація, мол. частка | $0,1+0,002 \cdot n$ | $0,3+0,001 \cdot n$ |

Примітка: в якості значення n взяти номер по списку.

Визначити для центр плану, рівні варіювання, перейти до безрозмірних координат, та скласти матрицю планування (таблиця 1.1) та розширену матрицю планування, як показано в таблиці 1.3.

| Номер досліджу | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | x_1x_2 | x_1x_3 | x_2x_3 | $x_1x_2x_3$ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|
| 1 | +1 | | | | | | | |
| 2 | +1 | | | | | | | |
| 3 | +1 | | | | | | | |
| 4 | +1 | | | | | | | |
| 5 | +1 | | | | | | | |
| 6 | +1 | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|----|--|--|--|--|--|--|--|
| 7 | +1 | | | | | | | |
| 8 | +1 | | | | | | | |

Теоретичні відомості.

Експеримент є одним з найважливіших методів наукових досліджень і його ефективність у значній мірі залежить від методів їх проведення. Розрізняють активний і пасивний експерименти. Пасивний експеримент являється традиційним методом, коли ставиться велика серія дослідів с почерговим варіюванням кожної зі змінних. До пасивних експериментів відноситься також збирання статистичного матеріалу в режимі нормальної експлуатації на промисловому об'єкті. Обробка даних для узагальнення результатів проводиться статистичними методами. Методи математичної статистики дозволяють в цьому випадку виявити максимум інформації із наявних експериментальних даних – оптимізувати процедуру обробки і аналізу експерименту. Використовуючи активний експеримент (панування експерименту) , можна досягнути значно більшого – оптимізувати і стадію постановки експерименту.

Велика кількість експериментальних задач в хімії та хімічній технології формулюється як екстремальні задачі: визначення оптимальних умов протікання процесу, оптимального складу композиції тощо. Завдяки оптимальному розташуванню точок в факторному просторі і лінійному перетворенню координат, вдається долати недоліки класичного регресійного аналізу. Вибір плану експерименту визначається постановкою задачі дослідження і особливостями об'єкту. Процес дослідження зазвичай розбивається на окремі етапи. Інформація, отримана після кожного етапу, визначає подальшу стратегію експерименту. Отже виникає можливість оптимального керування експериментом. Планування експерименту дозволяє варіювати одночасно всі фактори і отримувати кількісні оцінки основних ефектів і ефектів взаємодії.

Ефекти, які становлять інтерес для дослідників визначаються з меншою похибкою, ніж в традиційних методах дослідження. Вкінці кінців застосування методів планування значно підвищує ефективність експерименту.

Повний факторний експеримент. При плануванні за схемою повного факторного експерименту реалізуються всі можливі комбінації факторів на всіх вибраних для дослідження рівнях. Необхідна кількість дослідів при повному факторному експерименту визначається за формулою:

$$N = n^k \quad (1.1)$$

де n – кількість рівнів; k – число факторів.

Якщо експерименти проводяться на двох рівнях, при двох значеннях факторів і при цьому в процесі експерименту здійснюється всі можливі комбінації із k факторів, то постановка дослідів по такому плану називається повним факторним експериментом типу 2^k . Рівні факторів являють собою границі досліджуваної області за даним технологічним параметром. Наприклад вивчається вплив на вихід продукту (y , %) трьох факторів: температури (z_1) в діапазоні 100–200°C, тиску (z_2) 0,2-0,6 МПа і часу перебування (z_3) 10–20 хв. Верхній рівень за температурою z_1^{\max} дорівнює 200°C, нижній z_1^{\min} дорівнює 100°C. Тоді для z_1 :

$$z_1^0 = \frac{z_1^{\max} + z_1^{\min}}{2} = \frac{200 + 100}{2} = 150^\circ\text{C}$$

$$\Delta z_1 = \frac{z_1^{\max} - z_1^{\min}}{2} = \frac{200 - 100}{2} = 50^\circ\text{C}$$

Узагальнюючи це для будь-якого фактору z_j , отримаємо:

$$z_j^0 = \frac{z_j^{\max} + z_j^{\min}}{2}, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (1.2)$$

$$\Delta z_j = \frac{z_j^{\max} - z_j^{\min}}{2} \quad (1.3)$$

Точка з координатами $(z_1^0 \dots z_k^0)$ називається центром плану, іноді її називають основним рівнем; Δz_j – інтервал варіювання по осі z_j . Від змінних z_1, \dots, z_k перейдемо до нових – x_1, \dots, x_k подальшого лінійного перетворення:

$$x_j = \frac{z_j - z_j^0}{\Delta z_j} \quad (1.4)$$

Для змінних x_1, \dots, x_k , верхній рівень дорівнює +1, нижній рівень -1, координати центру плану дорівнюють нулю і співпадають з початком координат. В розглядуваному прикладі $k=3$. Число можливих комбінацій N із трьох факторів на двох рівнях дорівнює $N=2^k=2^3=8$. План проведення експериментів (матриця планування) записується у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Повний факторний експеримент 2^3

| Номер досліджу | Фактори в реальному масштабі | | | Фактори в безрозмірному масштабі | | |
|----------------|------------------------------|-------|-------|----------------------------------|-------|-------|
| | z_1 | z_2 | z_3 | x_1 | x_2 | x_3 |
| 1 | 100 | 0,2 | 10 | -1 | -1 | -1 |
| 2 | 200 | 0,2 | 10 | +1 | -1 | -1 |
| 3 | 100 | 0,6 | 10 | -1 | +1 | -1 |
| 4 | 200 | 0,6 | 10 | +1 | +1 | -1 |
| 5 | 100 | 0,2 | 30 | -1 | -1 | +1 |
| 6 | 200 | 0,2 | 30 | +1 | -1 | +1 |
| 7 | 100 | 0,6 | 30 | -1 | +1 | +1 |
| 8 | 20 | 0,6 | 30 | +1 | +1 | +1 |

Завдання до розрахункової роботи №2

Знаходження коефіцієнтів регресії

Завдання:

Для умов практичного заняття 1 знайти коефіцієнти регресії і скласти рівняння регресії. Значення результатів дослідів такі

| № дослідів | y |
|------------|---------------------|
| 1 | $0,45+0,01 \cdot n$ |
| 2 | $0,65+0,01 \cdot n$ |
| 3 | $0,42+0,01 \cdot n$ |
| 4 | $0,73+0,01 \cdot n$ |
| 5 | $0,75+0,01 \cdot n$ |
| 6 | $0,95+0,01 \cdot n$ |
| 7 | $0,65+0,01 \cdot n$ |
| 8 | $0,80+0,01 \cdot n$ |

Теоретичні відомості.

При плануванні експериментів після складання плану експерименту проводяться дослідів і визначаються дослідні значення розглядуваної величини при кожній комбінації факторів. Тоді матриця планування доповнюється стовпчиком з експериментальними даними (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Розширена матриця планування 2^3 з експериментальними даними.

| Номер дослідів | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | x_1x_2 | x_1x_3 | x_2x_3 | $x_1x_2x_3$ | y |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|---|
| 1 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | 2 |
| 2 | +1 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | 6 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | +1 | 4 |

| | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 4 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 8 |
| 5 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | 10 |
| 6 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | 18 |
| 7 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | 8 |
| 8 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 12 |

Повне рівняння регресії з коефіцієнтами взаємодії має вигляд:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (2.1)$$

Згідно методу найменших квадратів, можна довести, що будь-який коефіцієнт рівняння регресії b_j визначається скалярним добутком стовпчика y на відповідний стовпчик x_j , поділений на число дослідів в матриці планування:

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} y_i \quad (2.2)$$

Користуючись планом, представленим в таблиці 2.1, покажемо на прикладі розрахунок коефіцієнта регресії. Наприклад, для визначення коефіцієнта b_1 при x_1 необхідно виконати такі дії:

$$\begin{bmatrix} -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \\ -1 \\ +1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 \\ 6 \\ 4 \\ 8 \\ 10 \\ 18 \\ 8 \\ 12 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 \\ +6 \\ -4 \\ +8 \\ -10 \\ +18 \\ -8 \\ +12 \end{bmatrix}$$

$$\sum_{i=1}^8 x_{ji} y_i = -2 + 6 - 4 + 8 - 10 + 18 - 8 + 12 = 20$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{ji} y_i}{8} = \frac{20}{8} = +2,5$$

Завдання до розрахункової роботи №3

Визначення значимості коефіцієнтів регресії

Завдання.

Для умов практичних занять 1 та 2, в центрі плану проведено додатково три паралельні досліди і отримані такі значення:

$$y_1=0,52+0,01 \cdot n;$$

$$y_2=0,53+0,008 \cdot n;$$

$$y_3=0,50+0,012 \cdot n;$$

Визначити значимість коефіцієнтів в регресійному рівнянні, отриманому на практичному занятті 2, та перевірити адекватність отриманого рівняння експерименту.

Теоретичні відомості.

Якщо провести додаткові паралельні досліди, можна визначити дисперсію відтворюваності і за наявності ступенів свободи – адекватність рівняння.

В регресійному рівнянні коефіцієнти некорельовані між собою. Значимість коефіцієнтів регресії можна перевірити для кожного коефіцієнта окремо за критерієм Стюдента. Виключення з рівняння регресії незначимого коефіцієнта не вплине на решту коефіцієнтів. При цьому вибіркові коефіцієнти b_j виявляються так званими незмішаними оцінками для відповідних теоретичних коефіцієнтів β_j :

$$b_j \rightarrow \beta_j \quad (3.1)$$

Тобто значення коефіцієнтів рівняння регресії характеризує вклад відповідного фактору у величину y . Всі коефіцієнти регресійних рівнянь визначаються з однаковою точністю

$$s_{b_j} = s_{\text{воспр}} / \sqrt{N} \quad (3.2)$$

де $s_{\text{воспр}}$ – похибка досліду (похибка відтворюваності).

Наприклад в центрі плану поставлено додатково m паралельних дослідів і отримано ряд значень: $y_1^0, y_1^0, \dots, y_m^0$. Тоді середнє значення величини y становитиме:

$$\bar{y}^0 = \frac{\sum_{u=1}^m y_u^0}{m} \quad (3.3)$$

Дисперсія відтворюваності буде визначатися:

$$s_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^m (y_u^0 - \bar{y}^0)^2}{m-1} \quad (3.4)$$

Очевидно, що похибка дослідів становитиме:

$$s_{\text{воспр}} = \sqrt{s_{\text{воспр}}^2} \quad (3.5)$$

Тоді за формулою (3.2) можна визначити точність коефіцієнтів, після чого розрахувати критерій Стюдента для кожного коефіцієнта:

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{b_j}} \quad (3.6)$$

Число ступенів свободи за умов дослідів становитиме:

$$f = m - 1 \quad (3.7)$$

За числом ступенів свободи для заданого рівня значимості ($p=0,05$) визначається табличне значення критерію Стюдента $t_p(f)$ (додаток А).

Значимим коефіцієнтами регресії є такі, для яких виконується умова:

$$t_j > t_p(f) \quad (3.8)$$

Решта коефіцієнтів виключається з рівняння регресії.

Адекватність отриманого рівняння перевіряється за значенням критерію Фішера:

$$F = \frac{s_{\text{ост}}^2}{s_{\text{воспр}}^2} \quad (3.9)$$

де $s_{\text{ост}}^2$ – залишкова дисперсія. Ця величина визначається за формулою:

$$s_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N-l} \quad (3.10)$$

де \hat{y}_i – значення величини y , розраховане за регресійним рівнянням з вилученими незначимим коефіцієнтами; l – число значимих коефіцієнтів в рівняння регресії.

Табличне значення критерію Фішера визначають залежно від таких величин $f_1=N-l$, $f_2=m-1$ (Додаток Б). Умова адекватності рівняння експерименту має вигляд:

$$F < F_{1-p}(f_1, f_2) \quad (3.11)$$

За цією умовою роблять висновок про достовірність отриманого регресійного рівняння.

Завдання до розрахункової роботи №4

Дрібнофакторний експеримент

Завдання.

Для матриці планування дрібнофакторного експерименту 2^{3-1} з визначити герсесійне рівняння та перевірити його адекватність.

Вихідні дані:

| № дослідю | y_1 | y_2 | y_3 |
|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | $0,5+0,01 \cdot n$ | $0,54+0,01 \cdot n$ | $0,52+0,01 \cdot n$ |
| 2 | $0,56+0,01 \cdot n$ | $0,6+0,01 \cdot n$ | $0,58+0,01 \cdot n$ |
| 3 | $0,82+0,001 \cdot n$ | $0,9+0,001 \cdot n$ | $0,8+0,005 \cdot n$ |
| 4 | $0,8+0,01 \cdot n$ | $0,8+0,01 \cdot n$ | $0,78+0,01 \cdot n$ |

Теоретичні відомості.

Якщо при отриманні рівняння можна обмежитися лінійним наближенням, то число дослідів різко зменшується при використанні дрібнофакторних експериментів (дрібних реплік від повнофакторного експерименту). Для того, щоб репліка представляла собою ортогональний план, в якості репліки слід брати повний факторний експеримент для меншого числа факторів. Число дослідів при цьому повинно бути більшим чи дорівнювати числу невідомих коефіцієнтів в рівнянні регресії. Припустимо, що потрібно отримати лінійне наближення при трьох незалежних факторах:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (4.1)$$

Для вирішення цієї задачі можна обмежитися чотирма дослідями, якщо в плануванні ПФЕ 2^2 (таблиця 4.1) використати стовпчик $x_1 x_2$ в кості плану для x_3 (таблиця 4.2).

Таблиця 4.1 – Повний факторний експеримент 2^2

| № досліду | x_0 | x_1 | x_2 | x_{12} |
|-----------|-------|-------|-------|----------|
| 1 | +1 | +1 | +1 | +1 |
| 2 | +1 | -1 | -1 | +1 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | -1 |
| 4 | +1 | +1 | -1 | -1 |

Таблиця 4. – Дрібнофакторний експеримент факторний експеримент 2^{2-1}

| № досліду | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | +1 | +1 | +1 | +1 |
| 2 | +1 | -1 | -1 | +1 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | -1 |
| 4 | +1 | +1 | -1 | -1 |

Такий скорочений план – половина повного факторного експерименту (ПФЕ) 2^3 – називається напівреплікою від ПФЕ 2^3 або дрібнофакторним експериментом 2^{3-1} . Користуючись плануванням, можна оцінити вільний член і три коефіцієнти регресії при лінійних членах.

Розглянемо схему планування дрібнофакторного експерименту та дисперсійного і регресійного аналізу планування експеримента, коли кожен дослід в матриці планування повторювався t раз (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Матриця планування 2^{3-1} та результати вимірювань

| № досліду | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | y_1 | y_2 | y_3 | \bar{y} | s^2 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|---------|
| 1 | +1 | +1 | +1 | +1 | y_{11} | y_{12} | y_{13} | \bar{y}_1 | s_1^2 |
| 2 | +1 | -1 | -1 | +1 | y_{21} | y_{22} | y_{23} | \bar{y}_2 | s_2^2 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | -1 | y_{31} | y_{32} | y_{33} | \bar{y}_3 | s_3^2 |
| 4 | +1 | +1 | -1 | -1 | y_{31} | y_{32} | y_{33} | \bar{y}_4 | s_4^2 |

В кожній точці матриці планування визначається середнє значення вимірюваної величини по m паралельних дослідах:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{u=1}^m y_{iu}}{m}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.2)$$

і дисперсія:

$$s_i^2 = \frac{\sum_{u=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_i)^2}{m-1}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.3)$$

Перевіряється однорідність вибірових дисперсій за критерієм Кохрена. Для цього складається відношення максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій:

$$G = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N s_i^2} \quad (4.4)$$

Отримане відношення порівнюється з табличним (додаток А): $G_{1-p}(f_1, f_2)$, де $p=0,05$; $f_1=m-1$, $f_2=N$. Якщо $G < G_{1-p}(f_1, f_2)$, дисперсії однорідні.

Тоді в якості оцінки дисперсії відтворюваності можна взяти середню дисперсію:

$$s_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N s_i^2}{N} \quad (4.5)$$

З числом ступенів свободи $f_{\text{воспр}} = N - 1$.

Коефіцієнти регресії визначаються а формулою:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} \bar{y}_i}{N} \quad (4.6)$$

Враховуючи, що дисперсія \bar{y} отримана за виборкою об'єму m в m раз менше дисперсії одиничного вимірювання

$$s_{\bar{y}}^2 = s_{\text{воспр}}^2 / m \quad (4.7)$$

В розглядуваному прикладі (таблиця 4.3) дисперсія коефіцієнтів визначається таким чином:

$$s_{b_j}^2 = s_{\text{воспр}}^2 / Nm \quad (4.8)$$

Значимість коефіцієнтів перевіряється за критерієм Стюдента. Для всіх коефіцієнтів регресії його значення визначається таким чином:

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{b_j}} \quad (4.9)$$

Значимим коефіцієнтами регресії є такі, для яких виконується умова:

$$t_j > t_p \quad (4.10)$$

Решта коефіцієнтів виключається з рівняння регресії.

Адекватність отриманого рівняння перевіряється за значенням критерію Фішера:

$$F = \frac{s_{\text{ост}}^2}{s_{\text{воспр}}^2} \quad (4.11)$$

де $s_{\text{ост}}^2$ – залишкова дисперсія. Ця величина визначається за формулою:

$$s_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N-l} \quad (4.12)$$

де \hat{y}_i – значення величини y , розраховане за регресійним рівнянням з вилученими незначимим коефіцієнтами; l – число значимих коефіцієнтів в рівняння регресії.

Табличне значення критерію Фішера визначають залежно від таких величин $f_1=N-l$, $f_2=N(m-1)$ (Додаток Б практичного заняття №3). Умова адекватності рівняння експерименту має вигляд:

$$F < F_{1-p}(f_1, f_2) \quad (4.13)$$

За цією умовою роблять висновок про достовірність отриманого регресійного рівняння.