



ГАВРИШ Т.В., ШАНІНА О.М., ОЛІЙНИК С.Г.

СТРАТЕГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ТА НАУКОВОГО ПОШУКУ



Харків
2025

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет переробних і харчових виробництв
Кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів

СТРАТЕГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ТА НАУКОВОГО ПОШУКУ

Навчально-методичний посібник
до виконання лабораторних робіт
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 181 Харчові технології, ОПП «Технології зернопродуктів та
зернові ресурси»

Затверджено
рішенням навчально-методичної комісії
факультету переробних і харчових виробництв
Протокол № 5
від 29 січня 2025 р.

Харків
2025

УДК 664.6/.7:001.891](075.8)

Ш 20

Схвалено

на засіданні кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів
Протокол №9 від 23.01.2025 р.

Рецензенти:

О.Г. Шидаківа-Каменюка, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів Державного біотехнологічного університету

О.І. Болховітіна, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів Державного біотехнологічного університету

Ш 20 Стратегії оптимізації технологій та наукового пошуку: навчально-методичний посібник до виконання лабораторних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 181 Харчові технології, ОПП «Технології зернопродуктів та зернові ресурси» / Держ. біотехнологічний ун-т ; авт.-уклад.: Шаніна О.М., Гавриш Т.В., Олійник С.Г. – Харків : [б. в.], 2025. – 77 с.

Навчально-методичний посібник до виконання лабораторних робіт розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Стратегії оптимізації технологій та наукового пошуку». Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Навчально-методичний посібник до виконання лабораторних робіт призначений для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 181 Харчові технології, освітньо-професійної програми «Технології зернопродуктів та зернові ресурси».

УДК 664.6/.7:001.891](075.8)

Відповідальний за випуск : Т.В. Гавриш, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів Державного біотехнологічного університету

© Шаніна О.М., Гавриш Т.В., Олійник С.Г., 2025

© ДБТУ, 2025

ВСТУП

Вирішення різноманітних виробничих проблем галузі, пов'язаних з забезпеченням ефективної організації технологічного процесу і отриманням продукції високої якості за різних умов потребує від сучасних фахівців вміння пошуку найкращих, оптимальних рішень. Вони повинні володіти методами оптимізації техніко-технологічних об'єктів, вміти аналізувати технологічні процеси та керувати їх параметрами з метою досягнення найкращих показників виробництва.

У цьому зв'язку метою викладання дисципліни є формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок ефективного використання методів вирішення оптимізаційних завдань у зернопереробній галузі.

Лабораторний практикум з дисципліни складається з семи лабораторних робіт, методичні вказівки до яких узагальнені у вигляді робочого зошита. Кожна лабораторна робота має мету, об'єкт, предмет вивчення, загальні відомості з теми, що вивчається, послідовність та варіанти виконання дослідження. Наприкінці робочого зошита надано додатки, які містять довідковий матеріал за темами лабораторних робіт.

До кожної лабораторної роботи студентові слід підготуватися самостійно, використовуючи інформацію, наведену у загальних відомостях за темою, що вивчається, конспект лекцій і рекомендовану літературу. На занятті студентові необхідно виконати поставлені завдання та узагальнити їх результати, сформулювати висновки, оформити звіт з лабораторної роботи і надати викладачеві для перевірки.

Дані методичні матеріали можуть бути використані під час виконання випускної кваліфікаційної магістерської роботи, а також у подальшій діяльності на виробництві після закінчення університету.



Лабораторна робота № 1

РОЗРАХУНОК СТАБІЛЬНОСТІ І ЦІЛІСНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

Мета: навчитися розраховувати показники функціонування технологічних систем – стабільність і цілісність.

Об'єкт вивчення: задана технологічна система галузі.

Предмет вивчення: ентропія системи, стабільність підсистеми і системи, цілісність технологічної системи.

Критерії оцінки знань: знання порядку розрахунку й уміння визначати стабільність і цілісність технологічних систем.



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Стабільність – це фактор цілісності системи, що характеризує рівень її організованості та розвитку. Стабільний процес – це процес, що затвердився на визначеному рівні стійкості.

Однією з характеристик стабільності є *ентропійна функція*. Особливе значення ентропія набуває в зв'язку з тим, що вона пов'язана з глибокими фундаментальними властивостями випадкових процесів. За одиницю ентропії приймають невизначеність випадкового об'єкта:

$$H = -\sum P_i \log P_i = 1 \quad (1)$$

$$\sum P_i = 1 \quad (2)$$

де P_i – вірогіднісна міра, що позначається у вигляді множини $\{P_i, i = 1, 2, \dots\}$.

Стан системи можна охарактеризувати мірою стабільності як різниці максимально можливої ентропії (дорівнює одиниці) $H_{\max}$ і ентропії H даного елемента системи:

$$\Delta H = H_{\max} - H \quad (3)$$

Якщо поділити обидві частин рівності на $H_{\max}$ і позначити $\Delta H/H_{\max} = R$, тоді:

$$R = \frac{(H_{\max} - H)}{H_{\max}} \quad (4)$$

Якщо система максимально упорядкована, то її ентропія дорівнює $H = 0$, і $R = 1$. Якщо в системі максимальна неупорядкованість, то $H = H_{\max}$, $R = 0$.

Стабільність процесу. Якщо R позначити через η - стабільність процесу, тоді:

$$\eta = \frac{H_{\max} - H}{H_{\max}} = \frac{1 - H}{H_{\max}} \quad (5)$$

тобто

$$\eta = \frac{1 - H}{H_{\max}} \quad (6)$$

де: η – стабільність процесу;
 H – ентропія, що відповідає розподілу величини показника якості даного виробу;
 $H_{\max}$ – максимально можлива ентропія, що відповідає закону рівномірного розподілу.

Можна записати ентропію системи в наступному вигляді:

$$H = -\sum P(x_i) \log P(x_i) = 1 \quad (7)$$

де: $P(x_i)$ – ймовірність улучення випадкової величини в інтервал X_{i-1} до X_i .

Якщо взяти для визначеності найменше число можливих станів, за якого об'єкт ще залишається випадковим, рівне двом, і в підставі логарифма також число 2, то для випадку з двома можливими результатами:

$$H = -P \times \log_2 P - (1 - P) \times \log_2 (1 - P) \quad (8)$$

Якщо цей вираз прирівняти до одиниці (коли ентропія максимальна і дорівнює 1), то з нього випливає, що $P = 0,5$

$$H_{\max} = -0,5 \times \log_2 0,5 - 0,5 \times \log_2 0,5 = 1 \quad (9)$$

Тоді, якщо у формулі врахувати, що $H_{\max} = 1$, то вона прийме наступний вигляд:

$$\eta = 1 - \frac{H_i}{1} \quad (10)$$

де: η_i і H_i – стабільність і ентропія i -ї підсистеми.

Якщо вихід підсистеми характеризується двома й більше значущими показниками, то узагальнену величину ентропії можна розраховувати з урахуванням коефіцієнтів вагомості кожного показника.

Ентропія системи, що складається із сукупності трьох незалежних підсистем A , B та C , може бути записана в наступному вигляді:

$$H(ABC) = H(A) + H(B) + H(C), \quad (11)$$

а ймовірність стану такої системи:

$$P(ABC) = P(A) \times P(B) \times P(C) \quad (12)$$

Якщо підсистеми A , B и C статистично залежні, то

$$P(ABC) = P(A) \times P(B/A) \times P(C/AB) \quad (13)$$

Тоді ентропія системи розраховується за формулою:

$$H(ABC) = H(A) \times H(B/A) \times H(C/AB), \quad (14)$$

де: $H(B/A)$ – умовна ентропія підсистеми B відносно підсистеми A ;
 $H(C/AB)$ – умовна ентропія підсистеми C відносно підсистем A та B .

Умовна ентропія характеризує статистичний зв'язок між підсистемами. Якщо такого зв'язку нема, тобто $P(B/A) = P(B)$, то й $H(B/A) = H(B)$.

Рівень цілісності системи з трьох підсистем з урахуванням (6) розраховують як:

$$\eta(CBA) = 1 - H(CBA) \quad (15)$$

$$\eta(CBA) = 1 - (H(C/AB) + H(B/A) + H(A)) \quad (16)$$

Якщо додати по дві одиниці в обох частинах рівності (16), щоб у правій частині було три одиниці для перетворення H в η , то одержимо:

$$\eta(CBA) + 2 = 1 - H(C/AB) + 1 - H(B/A) + 1 - H(A) \quad (17)$$

$$\eta(CBA) + 2 = \eta(C/AB) + \eta(B/A) + \eta(A) \quad (18)$$

$$\text{чи} \quad \eta(CBA) = \eta(C/AB) + \eta(B/A) + \eta(A) - 2 \quad (19)$$

Таким чином, рівень цілісності Θ системи з трьох незалежних підсистем дорівнює:

$$\Theta(ABC) = \eta(A) + \eta(B) + \eta(C) - 2, \quad (20)$$

а для системи з трьох залежних підсистем:

$$\Theta(ABC) = \eta(A) + \eta(B/A) + \eta(C/AB) - 2, \quad (21)$$

де: $\eta(B/A)$ – умовна стабільність підсистеми B відносно підсистеми A ;

$\eta(C/AB)$ – умовна стабільність підсистеми C відносно підсистем A та B ;
2 – число, на одиницю менше, чим число підсистем у системі.

Приклад проведення розрахунку стабільності і цілісності технологічної системи наведені у Додатку А.



ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Згідно з варіантом обрати технологічну систему для розрахунку її стабільності і цілісності.

Варіант 1. Технологічна система виробництва хліба пшеничного.

Варіант 2. Технологічна система виробництва печива пісочного.

Варіант 3. Технологічна система виробництва сиру кисломолочного нежирного.

Варіант 4. Технологічна система виробництва олії соняшникової пресової нерафінованої.

Варіант 5. Технологічна система виробництва крупи пшонаної.

2. Визначити кількість підсистем та навести модель заданої технологічної системи.

Рис. 1. Модель технологічної системи виробництва _____

3. Підібрати формулу розрахунку цілісності системи та записати її:

$\theta =$ _____

4. Обрати вихідні параметри в кожній підсистемі. Дані занести до табл. 3.

Таблиця 3 – Основні вихідні параметри підсистем

№ з/п	Найменування підсистеми	Основний вихідний параметр підсистеми
1		
2		
3		
4		
5		

5. Визначити обсяг вибірки виробів у кожній підсистемі. Дані занести до табл. 4.

Таблиця 4 – Обсяг вибірки виробів в підсистемах

№ з/п	Найменування підсистеми	Обсяг вибірки виробів в підсистемах
1		
2		
3		
4		
5		

6. Визначити основні статистичні характеристики розподілу величини вихідних параметрів.

7. Прийняти інтервал, що задовольняє умові стабільності. Вимірювані та встановлені значення статистичних характеристик (за пробами відповідно до обсягу вибірки) представити в табл. 5.

Таблиця 5 – Значення статистичних характеристик

Статистичні характеристики	Основні вихідні параметри підсистем				
	С	С	...	В	А
X_i					
S_i					
$X_i \pm 2 \times S_i$					

8. Розрахувати стабільність роботи підсистем і цілісність системи. Дані представити в табл. 6.

Таблиця 6 – Розрахунок стабільності роботи підсистем

Найменування статистичних характеристик	Підсистеми				
	С	С	...	В	А
Обсяг вибірки					
Число проб в інтервалі:					
стабільної роботи					
нестабільної роботи					
Значення P_{1i}					
Значення P_{2i}					
$-P_{1i} \log P_{1i}$					
$-P_{2i} \log P_{2i}$					
Ентропія H_i					
Стабільність η_i					
Цілісність системи					

9. Зробити висновки за роботою, вказавши в них підсистеми з найбільш низьким значенням стабільності. Вказати шлях підвищення цілісності технологічної системи.



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Розкрийте поняття «стабільність системи».
2. Що характеризує ентропійна функція.
3. Що називають підсистемою?
4. Назвіть основні статистичні характеристики роботи системи.
5. Наведіть порядок розрахунку цілісності системи.



Лабораторна робота № 2

ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

Мета: навчитися проводити обробку експериментальних даних, використовуючи метод найменших квадратів.

Об'єкт вивчення: отримані експериментальні дані.

Предмет вивчення: середнє квадратичне відхилення.

Критерії оцінки знань: знання порядку розрахунку й уміння обробляти експериментальні дані, використовуючи метод найменших квадратів.



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Метод найменших квадратів дозволяє проаналізувати й обробити дані, отримані в результаті експерименту.

Нехай у результаті вимірів отримано дані залежності величини y від x (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

x	x_1	x_2	x_3	...	x_n
$f(x)$	y_1	y_2	y_3	...	y_n

Необхідно знайти функцію $y = f(x)$, що таблично виражає задану залежність аналітично. Застосування інтерполяції в цьому випадку недоцільно, оскільки значення отримані експериментально, й тому є сумнівними (у ході експерименту виникає похибка, обумовлена неточністю вимірів). Тому необхідно знайти такий метод підбору емпіричної формули, що не тільки дозволяє знайти саму формулу, але й оцінити похибка апроксимації. Цю задачу дозволяє вирішити **метод найменших квадратів**.

Знайдемо функцію заданого вигляду:

$$y = f(x), \quad (1)$$

яка в точках $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ приймає значення якомога більш близькі до табличних значень.

Практично вид апроксимуючої залежності можна визначити візуально: за табл. 1 будується графік залежностей, а потім проводиться крива, що найкраще відображає характер розташування точок (рис. 1).

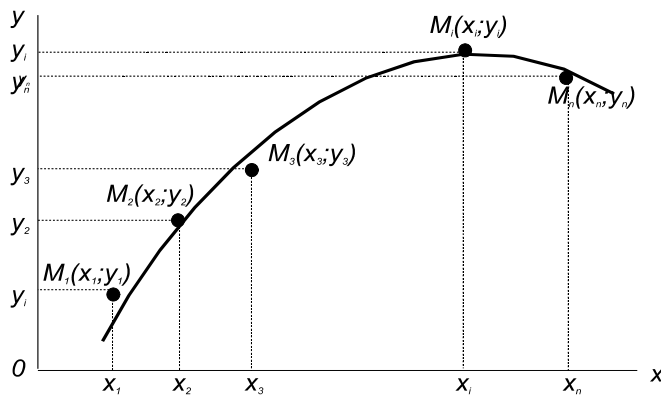


Рисунок1 – Графік залежності функції $y = f(x)$

За отриманою кривою встановлюється вид апроксимуючої залежності (звичайно із числа простих за видом аналітичних функцій: лінійна, статечна, експонентна або показова, логарифмічна, гіпербола, дрібно-раціональна тощо).

Формула (1), називається емпіричною формулою або рівнянням регресії y на x . Вона дозволяє знаходити значення

функції $f(x)$ для нетабличних значень x , «згладжуючи» результати вимірів величини y .

З рис. 1 видно, що для кожного значення x_i експериментальне y_i й розрахункове значення y_i^p різняться на деяку величину Δy_i , яка називається абсолютною різницею. Щоб сума квадратів абсолютних різниць для всіх точок була мінімальною, знайдемо оптимальні параметри функції $f(x)$, якщо виконується умова:

$$m = \min \sigma = \min \left(\sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2 \right) \quad (2)$$

де $\Delta y_i = y_i - y_i^p = y_i - f(x_i)$, то вважається, що функція $f(x)$ підібрана найкращим чином.

Лінійна регресія. Будемо шукати апроксимуючу залежність у вигляді:

$$y = f(x, k, b) = kx + b$$

Абсолютна різниця Δy_i для x_i визначається наступним чином:

$$\Delta y_i = y_i - y_i^p = y_i - f(x_i) = y_i - (kx_i + b),$$

Формулу (2) перепишемо у вигляді:

$$\sigma = \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b))^2.$$

Розглянута сума є функцією із двома параметрами $\sigma = F(k, b)$. Завдання зводиться до відшукування мінімуму цієї функції. Використовуємо необхідну умову екстремуму:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial k} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial k} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b))^2}{\partial k} = 0; \quad (3)$$

тобто

$$\frac{\partial \sigma}{\partial b} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial b} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b))^2}{\partial b} = 0.$$

Рішення системи двох рівнянь із двома невідомими щодо параметрів k і b дає конкретний вигляд апроксимуючої залежності $y = kx + b$. Опускаючи математичні викладення, запишемо вираз для шуканих параметрів:

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}; \quad (4)$$

$$b = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i - k \sum_{i=1}^n x_i \right).$$

Розрахувавши значення σ , одержимо величину середньоквадратичної похибки розглянутого наближення.

Зауваження: знайдені значення k і b , $\sigma = F(k, b)$ визначають точку екстремуму $\sigma = F(k, b)$. Використовуючи нерівність Коші - Буняковського можна довести, що в цій точці функція приймає мінімальне значення.

Як видно з розглянутого прикладу, зміна кількості параметрів не приведе до зміни лише кількості рівнянь у системі (3) (для n параметрів відповідно буде записано n рівнянь).

Підбір емпіричних формул. Щоб підібрати формулу, яка виражає залежність між двома величинами, що знайдена експериментальним шляхом, будують графік цієї залежності. Отриманий графік порівнюють за зовнішнім виглядом із графіками, побудованими за допомогою відомих формул. Формули містять невелике число параметрів (коефіцієнти, показники ступенів тощо), зміною яких можна в тому або іншому ступені змінювати вигляд кривої. Щоб формула не виявилася занадто складною, число параметрів не повинно бути великим. Зазвичай беруть два - три параметра. Під час порівняння звертають увагу на наявність максимумів і мінімумів, поведінку функції за великих і малих значень аргументу і т.д. Обравши серед відомих графіків той, що підходить, варто підібрати такі значення параметрів у формулі, щоб різниця між експериментальними значеннями величини й значеннями, знайденими за формулою, не перевищувала помилок експерименту. Якщо ця різниця виходить занадто великою, беруть інший графік, що підходить та повторюють спробу.

Нижче наведені формули й відповідні їм графіки, які застосовуються найчастіше.

Геометрична регресія. Статична залежність має вигляд:

$$y = ax^b \quad (5)$$

За всіх випадків $y = a$ при $x = 1$. За $b > 1$ в точці $x = 0$ крива дотична до осі абсцис. У цьому випадку, чим більше b , тим ближче підходить крива до осі абсцис $0 < x < 1$ і тим швидше вона збільшується за $x > 1$.

За $0 < b < 1$ в точці $x = 0$ крива дотична до осі ординат. За $-1 < b < 0$

крива ближче підходить до осі ординат, ніж до осі абсцис, при $b = -1$ навпаки.

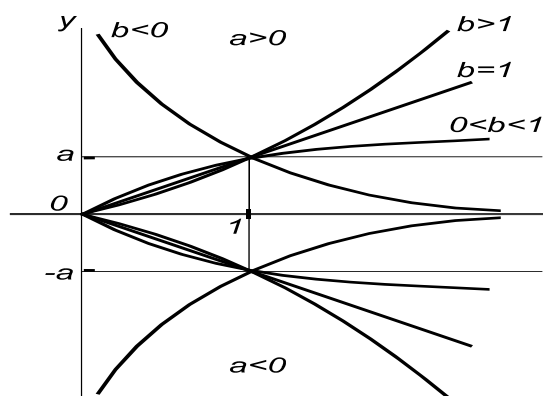
Припускаючи, що у вихідній табл. 1 значення аргументу й функції позитивні, прологарифмуємо рівняння (5) за умови

$$\ln y = \ln a + b \ln x. \quad (6)$$

Введемо нову змінну $t = \ln x$ тоді $\ln y$ буде функцією від t . Позначимо $A = \ln a$, тоді рівність (6) буде мати вигляд:

$$q(t) = A + bt,$$

тобто, завдання звелось до відшукування апроксимуючої залежності, у вигляді лінійної.



Практично для знаходження апроксимуючої функції, у вигляді статичної (при зроблених вище припущеннях) необхідно проробити наступні операції:

1) за даними таблиці 1 скласти нову таблицю 2 (табл. 2), прологарифмувавши значення x й y у вихідній таблиці;

Рисунок 2 – Графік степеневі залежності

Таблиця 2– Результати експериментальних досліджень

t	$\ln x_1$	$\ln x_2$	$\ln x_3$	...	$\ln x_n$
$q(t)$	$\ln y_1$	$\ln y_2$	$\ln y_3$	...	$\ln y_n$

2) за новою таблицею 2 знайти параметри A й b апроксимуючої функції, виду $q(t) = A + bt$;

3) використовуючи застосовані позначення, знайти значення параметрів a і b й підставити їх у вираз (5).

Остаточнo одержуємо:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln x_i \ln y_i - \sum_{i=1}^n \ln x_i \sum_{i=1}^n \ln y_i}{n \sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right)^2}$$

$$a = \exp \left(\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln y_i - b \sum_{i=1}^n \ln x_i \right) \right) \quad (7)$$

Показова залежність. Показова залежність має вигляд

$$y = f(x, a, k) = a \exp(kx) = ae^{kx}. \quad (8)$$

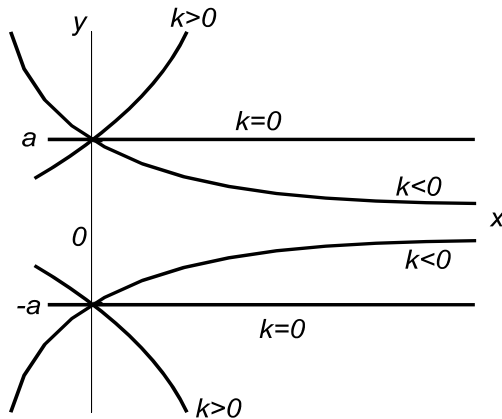


Рисунок 2 – Графік показової функції

У всіх випадках $y = a$ за $x = 0$. Якщо $a > 0$ то при $k > 0$ крива зростає зі збільшенням x тим швидше, чим більше k . За $k < 0$ вона наближається до осі абсцис зі зростанням x тим швидше, чим більше абсолютна величина k .

Якщо знайдена експериментальна залежність y від x є показовою, то графік залежності $\ln y$ від x являє собою пряму лінію, тангенс кута нахилу якої дорівнює параметру k . Якщо значення y за $x = 0$ невідоме, то величину параметра a можна

знайти за формулою $y = a \exp(kx)$ для ряду значень x , а потім взяти середнє.

Знайдемо коефіцієнти a й k для вихідної табл. 1, якщо відомо, що апроксимуючу функцію доцільно шукати у вигляді показової функції (8).

Отже, для знаходження апроксимуючої функції, у вигляді (8) потрібно прологарифмувати значення функції у вихідній табл. 1 і, розглядаючи їх разом з вихідними значеннями аргументу, побудувати для нової табл. 3 апроксимуючу функцію (10).

Таблиця 3 – Результати експериментальних досліджень

t	x_1	x_2	x_3	...	x_n
$q(t)$	$\ln y_1$	$\ln y_2$	$\ln y_3$	...	$\ln y_n$

Остаточню одержуємо:

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \ln y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n \ln y_i}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (11)$$

$$a = \exp \left(\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln y_i - k \sum_{i=1}^n x_i \right) \right).$$

Дрібно-лінійна залежність. Будемо шукати апроксимуючу функцію, у вигляді

$$y = f(x, a, b) = \frac{1}{ax + b}.$$

(12)

Для знаходження значень параметрів a і b за заданою табл. 1 потрібно скласти нову табл. 4, у якій значення аргументу залишити колишнім, а значення функції замінити оберненими числами, після чого для одержання таблиці знайти наближену функцію виду $ax + b$. Знайдені значення параметрів a і b підставити у формулу 12.

Таблиця 4 – Результати експериментальних досліджень

t	x_1	x_2	x_3	...	x_n
$q(t)$	$\frac{1}{y_1}$	$\frac{1}{y_2}$	$\frac{1}{y_3}$	...	$\frac{1}{y_n}$

Остаточно одержимо:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i / y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n 1 / y_i}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (13)$$

$$b = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 1 / y_i - b \sum_{i=1}^n x_i \right).$$

Дрібно-раціональна функція. Апроксимуюча залежність має вигляд:

$$y = f(x, a, b) = \frac{x}{ax + b}. \quad (14)$$

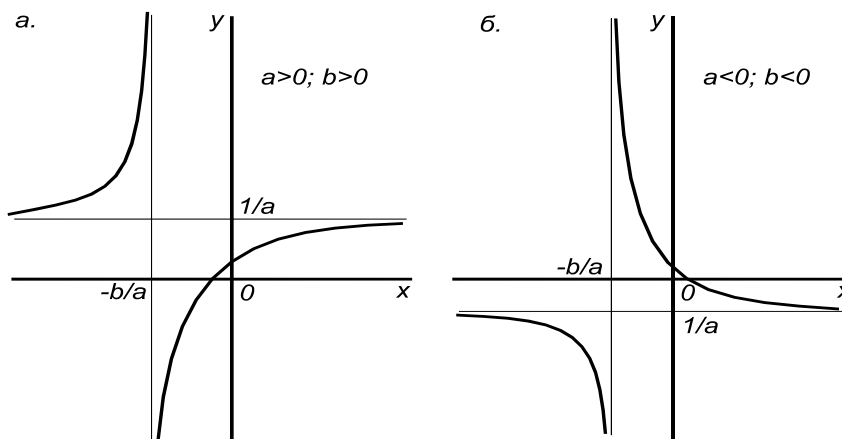


Рисунок 4 –Графіки дрібно-раціональної функції

Якщо у вихідній табл. 1 замінити значення x та y оберненими величинами за формулами $t = 1/x$, $q = 1/y$ і шукати для нової табл. 5.

Таблиця 5 – Результати експериментальних досліджень

t	$\frac{1}{x_1}$	$\frac{1}{x_2}$	$\frac{1}{x_3}$	...	$\frac{1}{x_n}$
$q(t)$	$\frac{1}{y_1}$	$\frac{1}{y_2}$	$\frac{1}{y_3}$	...	$\frac{1}{y_n}$

Остаточно одержимо:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n 1/(x_i y_i) - \sum_{i=1}^n 1/x_i \sum_{i=1}^n 1/y_i}{n \sum_{i=1}^n (1/x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n 1/x_i)^2}, \quad (15)$$

$$a = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 1/y_i - b \sum_{i=1}^n 1/x_i \right).$$

Логарифмічна функція. Апроксимуюча залежність має вигляд:

$$y = f(x, a, b) = a \ln x + b. \quad (16)$$

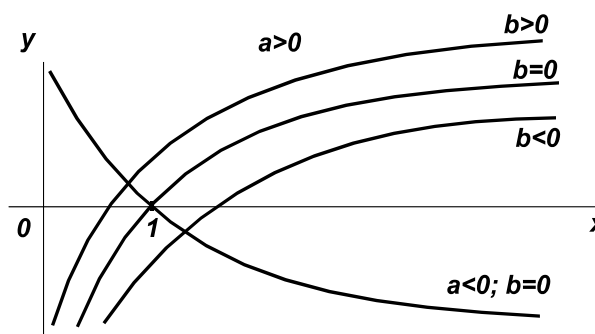


Рисунок 5 – Графік логарифмічної функції

Для знаходження значень a і b потрібно прологарифмувати значення аргументу у вихідній таблиці 1 і для нової таблиці 6 знайти апроксимуючу залежність, у вигляді лінійної. Коефіцієнти a і b знайденої функції підставити у формулу 16.

Таблиця 6 – Результати експериментальних досліджень

t	$\ln x_1$	$\ln x_2$	$\ln x_3$	...	$\ln x_n$
$q(t)$	y_1	y_2	y_3	...	y_n

Остаточно одержимо:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i \ln x_i - \sum_{i=1}^n \ln x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \ln x_i)^2}, \quad (17)$$

$$b = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n \ln x_i \right)$$

Гіперболічна залежність. Апроксимуюча залежність має вигляд:

$$y = f(x, a, b) = \frac{a}{x} + b. \quad (18)$$

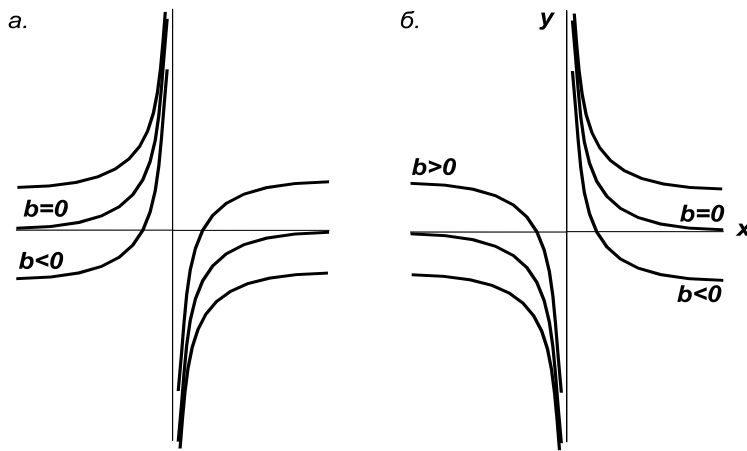


Рисунок 6 – Графік гіперболічної функції

Для знаходження апроксимуючої залежності значення аргументу у вихідній табл. 1 необхідно замінити оберненими числами й знайти для нової табл. 7 апроксимуючу функцію.

Таблиця 7 – Результати експериментальних досліджень

t	$\frac{1}{x_1}$	$\frac{1}{x_2}$	$\frac{1}{x_3}$	...	$\frac{1}{x_n}$
$q(t)$	y_1	y_2	y_3	...	y_n

Остаточно одержимо:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i / x_i - \sum_{i=1}^n 1/x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n (1/x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n 1/x_i)^2}, \quad (19)$$

$$b = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n 1/x_i).$$

Для апроксимації шуканої залежності поліномом s -порядку необхідно вирішити систему рівнянь, яка має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 \sum_i x_i^0 + a_1 \sum_i x_i^1 + a_2 \sum_i x_i^2 + \dots + a_s \sum_i x_i^s = \sum_i x_i^0 y_i \\ a_0 \sum_i x_i^1 + a_1 \sum_i x_i^2 + a_2 \sum_i x_i^3 + \dots + a_s \sum_i x_i^{s+1} = \sum_i x_i^1 y_i \\ a_0 \sum_i x_i^s + a_1 \sum_i x_i^{s+1} + a_2 \sum_i x_i^{s+2} + \dots + a_s \sum_i x_i^{2s} = \sum_i x_i^s y_i \end{array} \right. \quad (20)$$

Ця система лінійна відносно шуканих параметрів і носить назву нормальної. Її рішення дає численні значення параметрів.



ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Провести експериментальні дослідження згідно з варіантом.

Варіант 1. Дослідити вплив рН-середовища та масової частки гліцерину на якість клейковини пшеничного борошна.

Варіант 2. Дослідити вплив потужності мікрохвильової печі та тривалості обробки на швидкість розварювання гречаної крупи.

Варіант 3. Дослідити вплив рН-середовища та масової частки цукру на міцність пектинових драглів.

Отримані експериментальні дані занести до табл. 8.

Таблиця 8 – Результати експериментальних досліджень

№ з/п	Рівень фактора	y_1	y_2	y_n	$y_{сер}$
1					
2					
3					
...					
n					

2. Побудувати графік шуканої залежності $f(x)$ та вибрати вид рівняння регресії.

3. Визначити основні параметри апроксимуючої залежності.

4. Розрахувати теоретичні значення шуканої залежності $f(x)$.

5. Розрахувати суму квадратів відхилень обчислених значень функції від заданих.

6. Побудувати апроксимуючу залежність $f(x)$.

7. Зробити висновки за роботою _____



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Для чого застосовують метод найменших квадратів.
2. У чому полягає суть методу найменших квадратів.
3. Назвіть основні види представлення отриманих експериментальних даних.
4. Назвіть основні види залежностей досліджуваного параметру від факторів.
5. У чому відмінність апроксимуючої залежності від отриманих експериментальних даних?

Лабораторна робота № 3



ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Мета: навчитися проводити обробку експериментальних даних, використовуючи інструменти дисперсійного аналізу.

Об'єкт вивчення: отримані експериментальні дані.

Предмет вивчення: середнє квадратичне відхилення, абсолютна помилка експерименту, стандартне відхилення, остаточна, факторна та загальна дисперсії, критерій Фішера.

Критерії оцінки знань: знання порядку розрахунку й уміння обробляти експериментальні дані, використовуючи інструменти дисперсійного аналізу.



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Дисперсійний аналіз являє собою перевірку гіпотез, пов'язаних з оцінкою вибіркової дисперсії. Можна виділити три основних види гіпотез:

1. $S_1^2 \stackrel{?}{=} S_2^2$ (чи значиме розходження між двома дисперсіями?)
2. $S_1^2 \stackrel{?}{>} S_2^2$ (чи є одна дисперсія більше значуща, ніж інші?)
3. $S_1^2 = S_2^2 = \dots = S_m^2$ (чи значуще розходження між декількома дисперсіями?)

Дисперсія обчислюється з випадкових величин, і тому сама дисперсія також є випадковою величиною. Перші дві гіпотези дисперсійного аналізу перевіряються за допомогою критерію Фішера. Причому перша гіпотеза – за допомогою двостороннього критерію, а друга – за допомогою одностороннього. Перевірка здійснюється за наступною формулою:

$$\frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} \leq F(p, f(S_{\max}^2), f(S_{\min}^2)) \quad (1)$$

У дисперсійному аналізі для порівняння декількох дисперсій існує два критерії: Бартлета та Кохрена.

Критерій Бартлета. Містить у собі досить складні обчислення. Тестова статистика рівняється із процентною точкою розподілу.

Критерій Кохрена. Перевірка однорідності дисперсій включає обчислення частки максимальної дисперсії серед всіх дисперсій (2), яка потім

порівнюється із критичним значенням $G(p, m, f)$:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_i S_i^2} \quad (2)$$

де f – число ступенів волі кожної дисперсії (має бути однаковим у всіх дисперсій);

m – число дисперсій;

p – довірна ймовірність.

Дисперсійний аналіз застосовують якщо необхідно встановити, чи суттєво впливає деякий фактор X на досліджувану величину Y .

Основна ідея цього методу полягає в порівнянні факторної дисперсії, що породжується впливом фактору X , і залишкової дисперсії, обумовленої випадковими причинами.

Якщо розходження між цими дисперсіями значуще, то фактор X істотно впливає на вихідну величину Y , і в цьому випадку середні значення Y , що спостерігаються при різних значеннях X , відрізняються також істотно.

Основна гіпотеза (нульова) – рівність декількох групових середніх (середнє значення величини в i -тому досліді) сукупностей з невідомими, але однаковими дисперсіями.

Загальну, факторну й залишкову дисперсії знаходять як відношення суми квадратів відхилень до числа ступенів волі.

Оцінка значимості розходження дисперсій виробляється за допомогою критерію Фішера (F-критерію) і зводиться до порівняння факторних і залишкової D дисперсій. Якщо нульова гіпотеза вірна, то D_{yf} і D_{y0} різняться не значимо; якщо помилково – розходження значиме. Значення F , розраховане за даними експерименту, порівнюють з табличним і при виконанні нерівності $F < F_T$ нульова гіпотеза не відкидається.



ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Розглянути процес гідротермічної обробки зернової сировини (у вигляді описової моделі).

2. Обрати параметри, що будуть досліджуватися, та інтервал їх варіювання.

3. Дослідити вплив досліджуваного фактору на ефективність процесу гідротермічної обробки зернової сировини. Дані занести до табл. 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

№ з/п	Рівень фактора	y_1	y_2	y_n	$y_{сер}$	S_y	$S_{yф}$	$S_{yо}$
1								
2								
3								
...								
n								

4. Підтвердити або спростувати нульову гіпотезу про рівність декількох групових середніх сукупностей з невідомими, але однаковими дисперсіями. Для цього необхідно:

- визначити математичне очікування за формулою 3:

$$\overline{y_{сер}} = \frac{\sum_{i,j=1}^n y_{ij}}{n} \quad (3)$$

де: y_k – значення вимірюваного параметру в окремих дослідках експерименту;

k – номер дослідку;

n – кількість дослідів.

- визначити загальну – S_y (4), факторну – $S_{yф}$ (5) та залишкову – $S_{yо}$ (6) дисперсії:

$$D_y = \frac{S_y}{N \times m - 1}$$

де S_y знаходять за формулою:

$$S_y = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad (4)$$

де N – число експериментів;
 m – кількість повторів одного експерименту.

$$D_{y\phi} = \frac{S_{y\phi}}{N-1} \quad (5)$$

де $S_{y\phi}$ знаходять за формулою:

$$S_{y\phi} = m \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

$$D_{y0} = \frac{S_{y0}}{N(m-1)}$$

де S_{y0} знаходять за формулою:

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (6)$$

- порівняти факторну та залишкову дисперсії, використовуючи критерій Фішера (7):

$$F = \frac{D_{y\phi}}{D_{y0}} \quad (7)$$

- порівняти розрахункове значення критерію Фішера ($F_{\text{розрах.}}$) та табличне значення критерію Фішера ($F_{\text{табл.}}$) за заданого числа ступенів волі (Додаток Б).

5. Якщо нульова гіпотеза є вірною, використовуючи метод найменших квадратів провести апроксимацію середніх значень y_i .

У випадку, якщо нульова гіпотеза буде спростована, обраний фактор не суттєво впливає на процес, що досліджується. Необхідно обрати інший фактор і повторити кроки за п. 1-5.

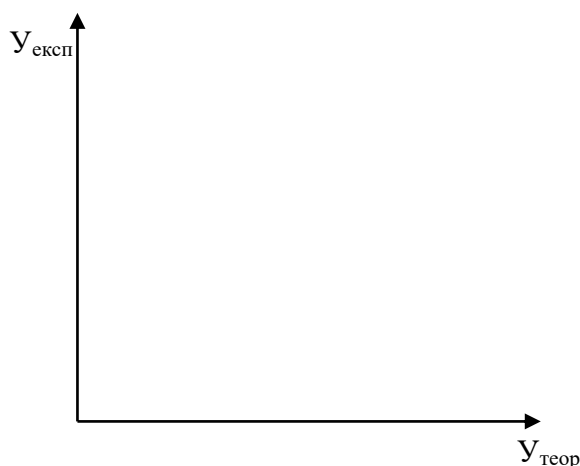
6. За отриманими експериментальними точками $(x_i, y_{i\text{exp}})$ встановити вид залежності $Y(X)$.

7. Використовуючи залежність $Y(X)$ знайти для кожного значення x_i відповідне значення $y_{i \text{ теор.}}$. Дані занести до табл. 2.

Таблиця 2 – Теоретично отримані дані досліджуваного процесу

№ з/П	Рівень фактора X_i	$Y_{i \text{ експ}}$	$Y_{i \text{ теор}}$
1			
2			
3			
...			
n			

8. Побудувати графік, на якому на осі абсцис відкласти значення $y_{i \text{ експ.}}$, а на осі ординат $y_{i \text{ теор.}}$. Оцінити величину розбіжності експериментальних та теоретично розрахованих значень.



9. Зробити висновки за роботою _____



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. З якою метою проводять дисперсійний аналіз?
2. Що характеризує середнє квадратичне відхилення?
3. Поясніть поняття «нульова гіпотеза»?
4. У чому полягає «нульова гіпотеза» дисперсійного аналізу?
5. За яких умов «нульова гіпотеза» спростовується?



Лабораторна робота № 4

ПЛАНУВАННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ І ОБРОБКА ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Мета: навчитися планувати екстремальні експерименти та обробляти дані з використанням інструментів регресійного аналізу.

Об'єкт вивчення: отримані експериментальні дані.

Предмет вивчення: критерій Кохрена, дисперсія відтворюваності, рівняння регресії, адекватність, значимість коефіцієнтів рівняння регресії.

Критерії оцінки знань: знання порядку планування й проведення регресійного аналізу.



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Планування експерименту - розділ математичної статистики, що вивчає раціональну організацію вимірів, підданих випадковим помилкам.

Експеримент – це вивчення залежності цільової функції (або функції відгуку) від декількох факторів $x_1...x_n$.

Мета планування експеримента має теоретичну та практичну складові (рис. 1).



Рисунок 1 – Мета планування експеримента

Для вирішення завдання пошуку максимуму (мінімуму) функції відгуку існує метод факторного планування експерименту, що дозволяє одержати максимально точне рішення за мінімальну кількість вимірів.

Плани експериментів можуть бути двох видів:

- **послідовний**, коли спочатку береться верхнє або нижнє граничне значення незалежної випадкової величини, потім воно змінюється через визначені інтервали до досягнення другого граничного значення;
- **випадковий**, коли обрані значення варіюються випадковими чином (*рандомінізовано*), беручи то менше, то більше значення.

Планування експерименту починається з вибору основного рівня факторів. Досліди, проведені за цих рівнів факторів, називаються дослідом *в центрі експерименту або в нульовій точці*. Потім обираються інтервали варіювання змінних (факторів). Під час вибору інтервалів можуть бути випадки, коли інтервали жорстко задані умовами завдання і їх вибирати не треба, або на інтервали не накладаються жодні обмеження. Вибір основного рівня і інтервалів варіювання приймається на апіорному рівні. Будується матриця планування в кодованих змінних величинах таким чином: у першому рядку всі змінні ставляться на верхньому рівні, тобто $x_1 = x_2 = \dots = +1$. Наступні рядки обираються за правилом: при порядковому переборі всіх варіантів частота зміни знака залежних змінних для кожної наступної змінної вдвічі менше, ніж для попередньої. Побудована матриця планування повинна мати такі властивості:

$$\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} = 0, \quad i \neq j, \quad i, j = \overline{(1, k)} \quad (1)$$

(ортогональність)

$$\sum_{u=1}^N x_{iu} = 0 \quad i = \overline{(1, k)} \quad (2)$$

(симетричність)

$$\sum_{u=1}^N x_{iu}^2 = N, \quad i = \overline{(0, k)} \quad (3)$$

де N – число рядків матриці (число умов проведення експерименту);
 x_{iu} – елементи відповідного стовпця матриці;
 i, j – номери стовпців.

Таким чином, у матриці планування знак плюс відповідає верхньому рівневі фактора, знак мінус – нижньому, а нуль – основному рівневі фактора.

За кожним рядком побудованої матриці проводять експериментальні дослідження.

Метод найменших квадратів, що дозволяє визначити параметри апроксимуючої залежності, наприклад $Y = f(X)$, що зв'язує змінні об'єкту дослідження, стає регресійним аналізом як тільки переходять до статистичних оцінок.

Основні статистичні оцінки регресійного аналізу: оцінка дисперсії відтворюваності, оцінка адекватності, оцінка значущості коефіцієнтів.

Оцінка дисперсії відтворюваності (погрішність досліду) визначається на підставі даних паралельних дослідів і характеризує рівноточність вимірювань у всіх дослідах. Якщо кількість рівнобіжних дослідів скрізь однакова, то перевірка їх рівноточності здійснюється за *критерієм Кохрена*.

Критерій Кохрена є відношенням максимальної дисперсії (D_{max}) до суми всіх дисперсій в N дослідних точках.

Значення критерію Кохрена (G) розраховане за даними експерименту, порівнюється з табличним і при виконанні нерівності $G < G_T$ нульова гіпотеза не відкидається.

Якщо досліди рівноточні, то обчислюють дисперсію, яка характеризує помилку експерименту, а також дисперсію середнього, встановлюють довірчий інтервал для середнього.

Оцінка значимості коефіцієнтів. Оскільки справжній вигляд функції невідомий, для опису поверхні відгуку використовують рівняння, що являє собою розкладання цієї функції у степеневий ряд:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_i x_i^2 + \dots \quad (4)$$

де b_0, b_i, b_{ij} – коефіцієнти рівняння регресії;
 x_i, x_j – змінні або фактори варіювання;
 y – вихід процесу.

Оцінка значущості коефіцієнтів рівняння регресії встановлює, чи впливає даний фактор на процес. Для того, щоб оцінити значущість коефіцієнтів регресії, необхідно знайти їхню вибірккову дисперсію. З огляду на ортогональність матриці планування, коефіцієнти регресії визначають незалежно один від одного.

Перевірку коефіцієнтів регресії на значимість проводять за допомогою критерію Стьюдента.

Статистична незначимість коефіцієнта регресії може бути обумовлена тим, що:

- крок варіювання для цього фактора був замалим;
- фактор або взаємодія факторів не впливають на досліджуваний параметр;
- за цим фактором досягнуто майже стаціонарну область;
- досліди проводилися з дуже глибокою помилкою.

Перед відкиданням відповідного члена з рівняння регресії треба з'ясувати, за якою з цих причин він є незначущим, тому що опускати його можна лише тоді, коли відповідний ефект не впливає на досліджуваний параметр. Коефіцієнти регресії, які залишилися, при цьому не перераховуються, оскільки обчислювалися незалежно один від одного.

Після того як встановлено значущість коефіцієнтів рівняння регресії записують уточнене рівняння регресії.

Оцінка адекватності апроксимуючої залежності. Оцінка адекватності апроксимуючої залежності зазвичай проводиться за допомогою **критерію Фішера**, який в даному випадку визначається як відношення дисперсії адекватності D_{ya} до дисперсії D_{yo} . Дисперсія адекватності характеризує розсіювання даних експерименту навколо апроксимуючої залежності.

Розраховане значення порівнюється з табличним $F_T = f [N - s; N(m - 1)]$. Якщо $F < F_T$ тоді гіпотеза про адекватність залежності $Y = f(X)$ в досліджуваному об'єкті не відкидається. Якщо ж рівняння неадекватно описує експериментальні дані, то таке рівняння не може бути базою для пошуку оптимальних значень. У цьому випадку необхідно визначити причини отримання не достатньо точного рівняння процесу (найбільш часто – арифметичні помилки). Для виявлення таких помилок варто за рівнянням, в якому записані всі, в тому числі і не значимі коефіцієнти, розрахувати вихід процесу при умовах 3-4 дослідів плану. Якщо отримані результати в рамках точності округлення співпадають з експериментальними даними, то арифметичної похибки немає.

При встановленні адекватності отриманого рівняння процесу варто врахувати вплив квадратичних ефектів факторів.

Якщо квадратичні ефекти будуть значимими, то і результати дослідів, що передбачаються, при $x_{i0} = 0$ будуть значимо відрізнятися від їх експериментальних значень. Якщо при цьому додатково поставити дослід в центрі експерименту в декількох повторностях, то, не перераховуючи всіх (окрім b_0) оцінок коефіцієнтів рівняння, можна визначити можливість опису процесу рівнянням без включення в це рівняння квадратичних членів.



ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Провести аналіз сутності досліджуваного процесу згідно з варіантом у вигляді описової моделі (табл. 1).

Таблиця 1 – Варіанти завдань

№	Процес, що досліджується
1	Процес драглеутворення у технології комбікормів для домашніх тварин
2	Вплив обробки борошна окисниками на показники якості клейковини
3	Процес дозрівання пшеничного борошна

2. Скласти модель «чорна шухляда» для обраного процесу. Провести ранжування та обрати оптимізувальні фактори. Скласти діаграму рангів (рис.2).



X_1 – _____	Y_1 – _____
X_2 – _____	Y_2 – _____
X_3 – _____	Y_3 – _____
...	
X_n – _____	Y_n – _____

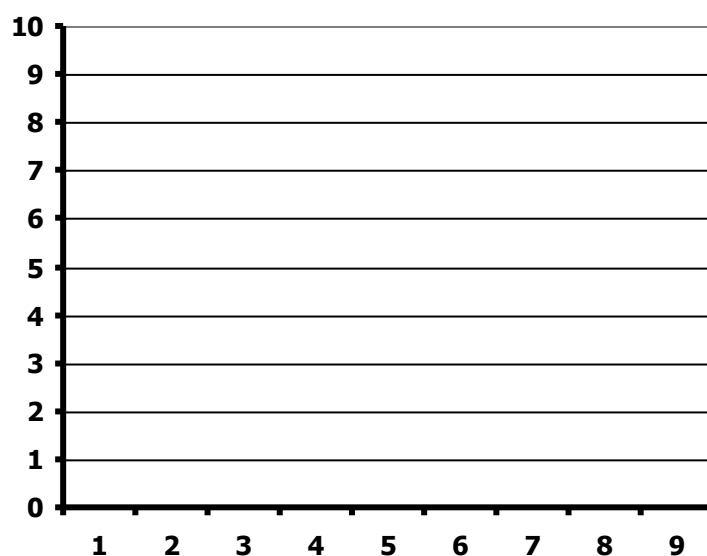


Рисунок 2 – Діаграма рангів входних параметрів для процесу _____

3. Обрати нульовий рівень та інтервал варіювання для кожного фактору. Дані занести в табл. 2.

4. Розрахувати нижній та верхній рівень факторів варіювання. Дані занести в табл. 2.

Таблиця 2 – Рівні факторів варіювання

Рівень фактора	Кодове позначення	Фактор варіювання			
		x_1	x_2	x_3	X_n^*
Нульовий рівень	0				
Інтервал варіювання	λ_i				
Нижній рівень ($X_{\max}$)	—				
Верхній рівень ($X_{\min}$)	+				

* – для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» кількість досліджуваних факторів має бути не менше трьох.

5. Скласти план повного факторного експерименту ПФЕ 2ⁿ для обраних оптимізувальних факторів з урахуванням розрахованих верхнього та нижнього рівнів. Дані представити в табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця повного факторного експерименту ПФЕ 2ⁿ

Дослід	Рівень фактора					
	Кодована величина			Натуральна величина		
	x_1	x_2	x_n	x_1	x_2	x_n
1						
2						
3						
...						
N						

6. Провести дослідження процесу _____ за кожним рядком матриці, дотримуючись відповідних рівнів оптимізувальних факторів. Кожен рядок матриці ПФЕ 2ⁿ реалізувати у 3-кратній повторності. Отримані результати занести до табл. 4.

Таблиця 4 – План і результати проведення ПФЕ 2^а

Дослід	Рівень фактора			Отримані експериментальні дані				D_{yi}
	x_1	x_2	x_n	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	$\bar{y}_i$	
1								
2								
3								
...								
N								
Дослід у центрі експерименту								
Коефіцієнт регресії								

7. Підтвердити або спростувати нульову гіпотезу про те, що дисперсії у всіх дослідах рівні між собою. Для цього розрахувати критерій Кохрена за формулою 5:

$$G = D_{y_{\max}} / \sum_{i=1}^N D_{yi} \quad (5)$$

$$\partial e D_{y_i} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2,$$

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i$$

Обчислене значення критерію Кохрена G за прийнятого рівня значущості α (найчастіше $\alpha = 0,05$) порівняти з табличними G_T , за заданого числа ступенів волі $N(m-1)$ (Додаток В). Якщо досліди є нерівноточними, то необхідно повторити кроки 6-7.

Якщо нульова гіпотеза є вірною, то необхідно оцінити середню квадратичну погрішність за формулою 6:

$$\delta_{\bar{y}}^2 = D_{\bar{y}_0} = \frac{1}{m \times N} \sum_{i=1}^N D_{y_i}, \quad (6)$$

де $m \times N = n$ – загальна кількість вимірів;

Довірчий інтервал для середнього визначити за формулою 7:

$$(\bar{y} \pm t_q \delta(\bar{y})) \quad (7)$$

8. Записати в загальному вигляді рівняння регресії та визначити коефіцієнти рівняння регресії, для процесу, що досліджується.

Коефіцієнти рівняння регресії розрахувати за формулами 8-9:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}, \quad i = (\overline{0, d}) \quad (8)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N} \quad (9)$$

де x_{iu} – значення змінної у відповідному стовпчику плану експерименту ($x_{iu} = \pm 1$)

y_u – результати u -го досліджу;

N – загальне число дослідів;

u – номер варіанту досліджу;

i – номер фактора;

j – номер фактора, відмінний від i ;

d – число коефіцієнтів регресії.

9. Визначити дисперсію, що характеризує помилку у визначенні коефіцієнтів регресії за формулою 10:

$$D(b_i) = \frac{\delta_y^2(\bar{y})}{N} \quad (10)$$

10. Визначити довірчі інтервали для кожного з коефіцієнтів регресії за формулою 11:

$$(b_i \pm t_q \sqrt{D(b_i)}) \quad (11)$$

11. Перевірити коефіцієнти регресії на значимість за допомогою критерію Стюдента за формулою 12:

$$t_{обч} = \frac{b_i}{\sqrt{D(b_i)}} \quad (12)$$

Порівняти $t_{обч}$ для кожного коефіцієнта регресії з $t_{табл.}$, узятим для q – відсоткового рівня значимості та ступенів волі (Додаток Г). Зробити висновок про значимість коефіцієнта регресії, що перевіряється. Отримані дані занести до табл. 5.

Таблиця 5 – Дані розрахунку коефіцієнтів рівняння регресії

№ з/п	Умовне позначення коефіцієнта рівняння регресії	Формула для розрахунку коефіцієнта рівняння регресії	Значення коефіцієнта рівняння регресії	Позначка про значимість коефіцієнта рівняння регресії
1				
2				
3				

12. Записати уточнене рівняння регресії. (Якщо в рівнянні після визначення коефіцієнтів всі коефіцієнти є значущими, то перевірка адекватності втрачає сенс. Розрахований за цим рівнянням вихід процесу для умов будь – якого i -го дослідів в межах точності округлення має співпадати з величиною, що прийнята до розрахунку. Якщо число значимих коефіцієнтів рівняння хоча б на одиницю менше числа дослідів, то необхідно провести статистичну перевірку адекватності рівняння експериментальним даним).

$y =$ _____

13. Користуючись результатами дослідів в центрі експерименту, за допомогою t -критерію перевірити кривизну поверхні відгуку, що виражає залежність досліджуваного параметра від незалежних змінних за формулою 12:

$$t_{обч} = \frac{\bar{y}_0 - b_0}{\sqrt{D(b_i)}} \quad (12)$$

Де y_0 – середнє значення досліджуваного параметра в центрі експерименту.

Якщо $t_{обч} \geq t_{таб}$ для q – відсоткового рівня значимості і ступенів волі $D_{\bar{y}}$, робиться висновок про значну кривизну поверхні відгуку. У цьому випадку переходять до планування 2-го порядку й описують поверхню відгуку в майже стаціонарній області (області оптимальних значень) поліномом 2-го порядку. Якщо ж кривизна поверхні відгуку незначна, значення коефіцієнтів регресії при взаємодіях малі, і існує можливість представити результати дослідів поліномом 1-го порядку, то переходять до перевірки адекватності отриманого рівняння регресії

14. Провести оцінку адекватності апроксимуючої залежності досліджуваного процесу. Для цього розрахувати критерій Фішера за формулою 13:

$$F = D_{ya} / D_{\bar{y}o} \quad (13)$$

14.1. Визначити дисперсію адекватності за формулою 14:

$$D_{ya} = \frac{1}{N-s} \sum_{s=1}^N (y_{pi} - \bar{y}_i)^2, \quad (14)$$

де s – число значимих параметрів апроксимуючої залежності, визначених за методом найменших квадратів;

y_{pi} – розрахункове значення функції при апроксимації її залежності вигляду $y = f(X)$.

14.2. Порівняти розрахункове значення критерію Фішера (F) та табличне значення критерію Фішера $F_T = f[N-s; N(m-1)]$ при заданому числі ступенів волі. Якщо $F < F_T$ тоді гіпотеза про адекватність залежності $Y = f(X)$ в досліджуваному об'єкті не відкидається.

Якщо припущення про адекватність відкидається необхідно переходити до більш складної форми рівняння або, якщо є можливість, проводити експеримент із меншим кроком варіювання.

15. Зробити загальні висновки за роботою _____



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ



регресії?

1. У чому полягає сутність планування експерименту?
2. Який експеримент називають багатофакторним?
3. Що називають рівнянням регресії?
4. У чому полягає суть регресійного аналізу?
5. Для чого перевіряють значимість коефіцієнтів рівняння

Лабораторна робота № 5

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ СЛАБКОГО ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА ОЗОНО-ПОВІТРЯНОЮ СУМІШШЮ

Мета: навчитися проводити оптимізацію заданого технологічної системи, використовуючи методи градієнта.

Об'єкт вивчення: пшеничне борошно зі слабкою клейковиною.

Предмет вивчення: базовий фактор, коефіцієнти пропорційності, матриця «крутого сходження».

Критерії оцінки знань: навички проведення оптимізації технологічних процесів методом «крутого сходження».



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Під **оптимізацією** (від лат. *Optimus* - найкращий) звичайно розуміють цілеспрямовану діяльність, що полягає в одержанні найкращих результатів за відповідних умов. Постановка завдання оптимізації припускає наявність її об'єкта, набору незалежних параметрів (змінних), що описують дане завдання, а також умов (часто з обмеженнями), які характеризують прийнятні значення незалежних змінних. Ще одним обов'язковим компонентом опису оптимізаційного завдання служить скалярна міра "якості", що носить назву критерію оптимізації, або цільової функції, яка залежить яким-небудь чином від змінних.

Рішення оптимізаційного завдання - це пошук певного набору значень змінних, котрому відповідає оптимальне значення критерію оптимізації.

Етапи постановки оптимізаційного завдання. Для оптимізації конкретного завдання необхідно:

- а) установити можливі границі зміни змінних;
- б) визначити кількісний критерій оптимізації, на основі якого можна провести аналіз варіантів з метою знаходження "найкращого";
- в) обрати змінні, що використовуються для визначення характеристик і ідентифікації варіантів;
- г) побудувати модель, що відбиває зв'язки між змінними.

Якщо у дослідженні система визначена й області зміни її змінних установлені (перший етап), здійснюють вибір критерію оптимальності, за допомогою якого можна оцінити характеристики системи або її проекту для виявлення "найкращого" варіанта проекту або "найкращих" умов функціонування системи (другий етап). У загальному випадку критерій оптимальності звичайно представляють як функцію вхідних, вихідних і керуючих параметрів. Найчастіше вибирають критерії економічного характеру (наприклад, валові капітальні витрати, чистий прибуток в одиницю часу, відношення витрат до прибутку й т.д.). Окрім них можуть бути використані

також технологічні критерії (наприклад, потрібно мінімізувати тривалість операції, максимізувати навантаження на реактор, мінімізувати кількість споживаної електроенергії). Незалежно від того, який критерій обирають для оптимізації даного об'єкта, "найкращому" варіанту завжди відповідає "мінімальне" або "максимальне" значення критерію.

Під час вирішення задачі оптимізації можна застосовувати тільки один критерій, оскільки неможливо одержати рішення, що забезпечує одночасно, наприклад, мінімум витрат, максимум надійності встаткування й мінімум споживаної енергії. Якщо конкретне завдання оптимізації характеризується сукупністю декількох критеріїв (часто при цьому суперечливих), то один із шляхів її рішення полягає у виборі якого-небудь критерію в якості первинного, у той час як інші критерії будуть вторинними. Зазвичай при оптимізації використовують первинний критерій; вторинні критерії розглядаються як обмеження оптимізаційного завдання, які повинні виконуватися для рішення завдання оптимізації.

На третьому етапі постановки завдання здійснюють вибір незалежних змінних, які дозволяють адекватно оцінювати якість проєкту або умови функціонування системи. На цьому етапі проводять розходження між змінними, значення яких можуть змінюватися в досить широкому діапазоні, і змінними, значення яких фіксовані й визначаються зовнішніми факторами.

Крім того, виявляють розходження між тими параметрами, які можуть передбачатися постійними, і параметрами, підданими флуктуаціям внаслідок впливу неконтрольованих факторів. На даному етапі необхідно врахувати всі найбільш важливі змінні, від яких залежить функціонування системи або якість проєкту, але не "перевантажувати" оптимізаційне завдання значним числом дрібних, несуттєвих деталей.

Після того, як критерій оптимізації й змінних завдань обрані, на четвертому етапі потрібно побудувати модель, що описує зв'язки між змінними і їхній вплив на критерій оптимізації. У принципі вона могла бути виконана на основі безпосереднього експериментування із системою шляхом пошуку значень керуючих впливів, при яких обраний критерій оптимальності має найкраще значення. Однак на практиці частіше використовують математичну модель об'єкта. Застосування математичної моделі переважніше, оскільки досліди, проведені на реальних системах, вимагають, як правило, більших витрат засобів і часу, а в ряді випадків пов'язані зі значним ризиком.

Математична модель являє собою систему рівнянь, що відбиває сутність явищ, що протікають в об'єкті моделювання, рішення якої за допомогою певного алгоритму дозволяє прогнозувати поведінку об'єкта при зміні вхідних і керуючих параметрів.

Класифікація задач оптимізації. У загальному випадку задачу оптимізації об'єктів можна представити як задачу мінімізації або максимізації речовин, функції багатьох змінних $f(x)$. Останні є сукупністю всіх змінних об'єкта, змінюваних під час його оптимізації. На ці змінні в загальному випадку

можуть бути накладені додаткові умови у формі рівностей, нерівностей, а також двосторонніх обмежень зверху й знизу:

Задача загального виду: мінімізувати (максимізувати) $f(x)$ за зазначених обмежень, називається оптимізаційною задачею з обмеженнями, або *задачею умовної оптимізації*. Задачі, у яких обмеження відсутні, носять назви задач без обмежень, або *задач безумовної оптимізації*. Останні особливо важливі, оскільки множинні методи вирішення умовних задач засновані на відомості їх до безумовного.

Оптимізаційні задачі класифікують також *залежно від виду функцій* $f(x)$, $Hk(x)$ і $Gj(x)$. Функції множинних змінних називають *лінійними*, якщо всі їхні часті похідні 1-го порядку не залежать від змінних, у протилежному випадку - *нелінійними*. Задачі, у яких всі зазначені функції лінійні, відносять до *задач лінійного програмування*. Якщо серед перерахованих функцій хоча б одна нелінійна, то такі завдання звичайно відносяться до *задач нелінійного програмування*. (Термін "програмування" у цьому випадку не зв'язаний безпосередньо із програмуванням ЕОМ, а означає лише певну процедуру вирішення задачі).

Для задач лінійного програмування розроблені ефективні алгоритми, що дозволяють знаходити оптимальні рішення за кінцеве число кроків, тобто обчислених значень критерію оптимізації. Задачі нелінійного програмування вирішують звичайно методом послідовних наближень, при цьому точність одержуваних рішень залежить від числа виконаних кроків; тому для таких задач розроблено спеціальні методи, що використовують конкретні особливості критерію оптимізації й обмежень.

За наявності моделі, що відбиває зв'язок між змінними оптимізувального об'єкта, варто підготувати задачу до рішення за допомогою відповідного алгоритму оптимізації, що дозволяє знайти рішення задачі із заданою точністю за кінцеве число кроків.

Труднощі, пов'язані з рішенням оптимізаційної задачі, можуть бути обумовлені наступними причинами:

- 1) поганим масштабуванням змінних, що проявляється як велике розходження в чутливості критерію оптимізації до змін різних змінних;
- 2) невдалим вибором методу оптимізації;
- 3) невдалим вибором початкового наближення рішення.

У якості методу оптимізації звичайно вибирають той, що веде до кінцевих результатів з найменшими витратами для обчислення. Вибір того або іншого методу значною мірою визначається постановкою оптимізаційної задачі, а також використовуваною математичною моделлю об'єкта оптимізації.

Методи багатовимірної оптимізації наведені на рис. 1.

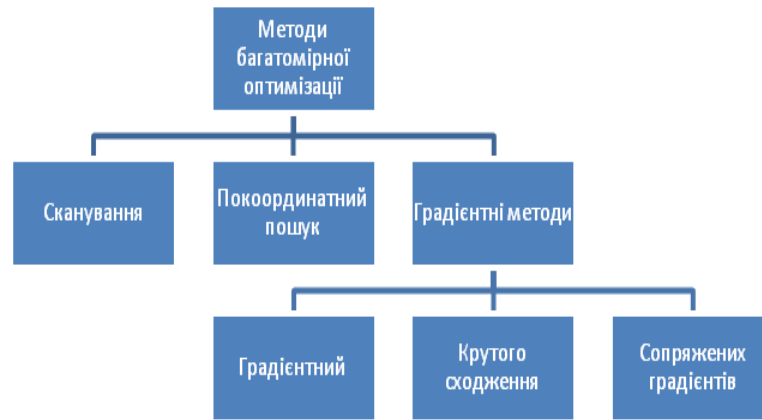


Рисунок 1 – Методи багатомірної оптимізації, пов'язані з пошуком екстремуму цільової функції без перебору всієї множини можливих значень

Функція n змінних задає гіперповерхню в $(n+1)$ -мірному просторі. На рис. 2 представлена графічна інтерпретація задачі оптимізації для функцій однієї або двох змінних.

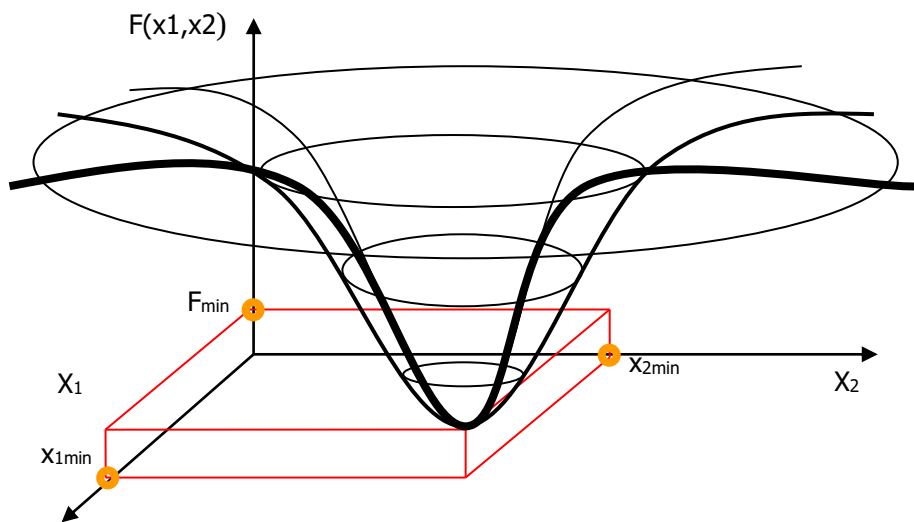


Рисунок 2 – Графік функції двох аргументів - поверхня в тривимірному просторі

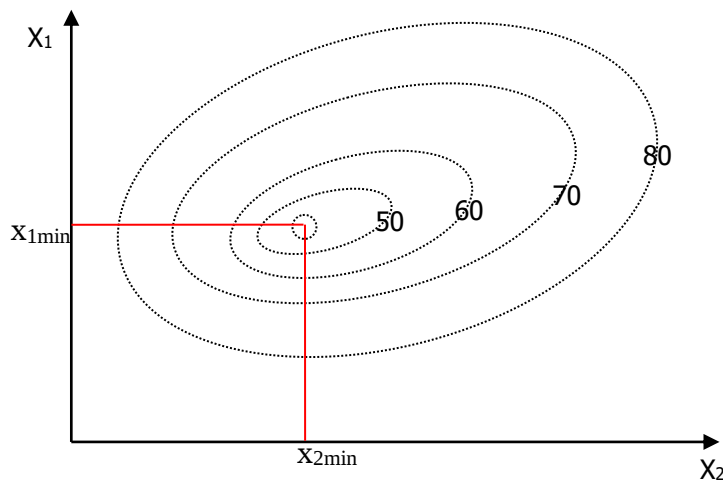


Рисунок 3 – Графік в ізолініях. «Вид зверху» на тривимірну поверхню, задану функцією двох змінних

Послідовність точок $\{\vec{x}^0, \vec{x}^1, \vec{x}^2 \dots \vec{x}^k\}: F(\vec{x}^j)$ краще $F(\vec{x}^{j-1})$, які будуть перебрані до знаходження екстремуму функції, називається *траєкторією пошуку*. Кількість k пошукових «кроків» (тобто довжина траєкторії пошуку), визначає ефективність методу оптимізації.

Метод сканування полягає в знаходженні значень цільової функції у вузлових крапках координатної сітки (побудованої з деяким обраним кроком) і пошуку серед цих значень найменшого (найбільшого). Не відрізняючись високою точністю, метод сканування зі збільшенням кількості координат вимагає величезних витрат часу й обчислювальних потужностей.

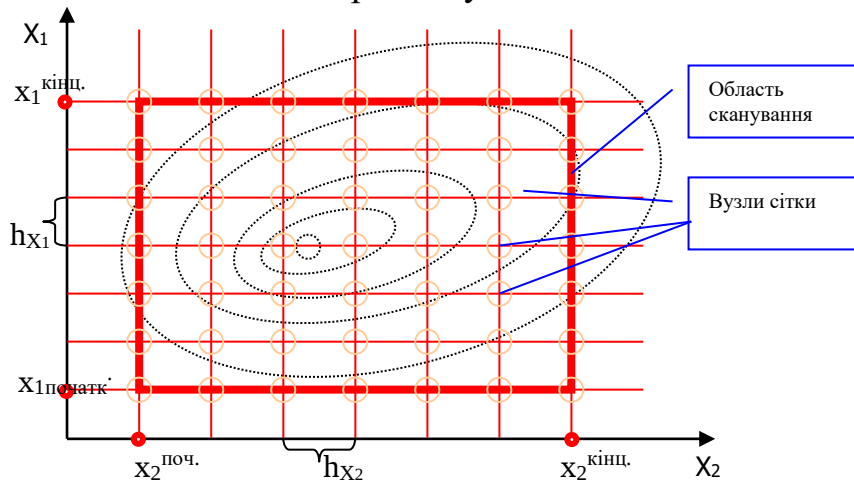


Рисунок 4 – Схематичне зображення методу сканування

Метод покоординатного пошуку (релаксації). Простий метод оптимізації, що полягає в послідовному знаходженні *локальних екстремумів* цільової функції по кожній з координат. Складається в переміщенні уздовж чергової обраної координати при постійних значеннях інших координат до досягнення локального екстремуму. Після знаходження локального екстремуму рух триває уздовж наступної координати. Велика кількість координат означає необхідність громіздких послідовних обчислень.

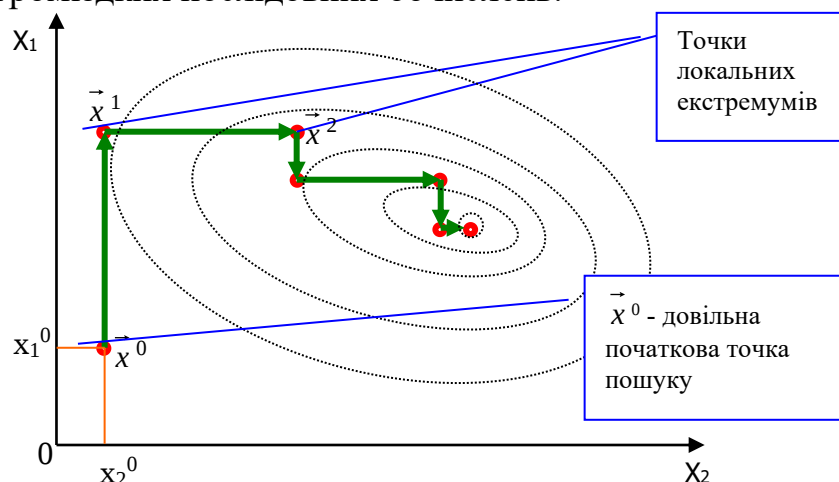


Рисунок 5 – Схематичне зображення покоординатного методу оптимізації

Гradientні методи оптимізації. Суть всіх gradientних методів полягає у використанні вектору gradient для визначення напрямку руху до оптимуму.

Вектор gradient $\nabla F(\vec{x}) = \text{grad}[F(\vec{x})] = \left\{ \frac{\partial F}{\partial x_1}, \frac{\partial F}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F}{\partial x_n} \right\}$ володіє декількома властивостями, які й сприяють його ефективному застосуванню під час пошуку екстремальних значень функції багатьох змінних. Виділимо деякі з них:

- вектор gradient завжди спрямований у бік найбільш швидкого зростання функції в даній крапці. Тому очевидно, що під час пошуку мінімальних значень функції необхідно рухатися в протилежну сторону. Такий напрямок руху називають антиgradientом або негативним gradientом і воно характеризує напрямок найбільш швидкого зменшення функції.

- gradient завжди ортогональний лінії рівного рівня, що проходить через дану крапку $x^{(k)}$

- відповідно до необхідної умови існування екстремуму функції багатьох змінних у точці екстремуму gradient функції обертається на нуль. Це властивість часто використовується для перевірки умови закінчення пошуку в gradientних методах.

$$|\nabla F(\vec{x})| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2} \quad (1)$$

$$\cos \alpha_i = \frac{\frac{\partial F}{\partial x_i}}{|\nabla F(\vec{x})|} \quad (2)$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} \approx \frac{F(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_i + \Delta x, x_{i+1}, \dots, x_n) - F(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)}{\Delta x} \quad (3)$$

У формулах 1—3: $i \in [1; n]$ – номер координати.

$$|\Delta F(\vec{x})| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2} \quad (4)$$

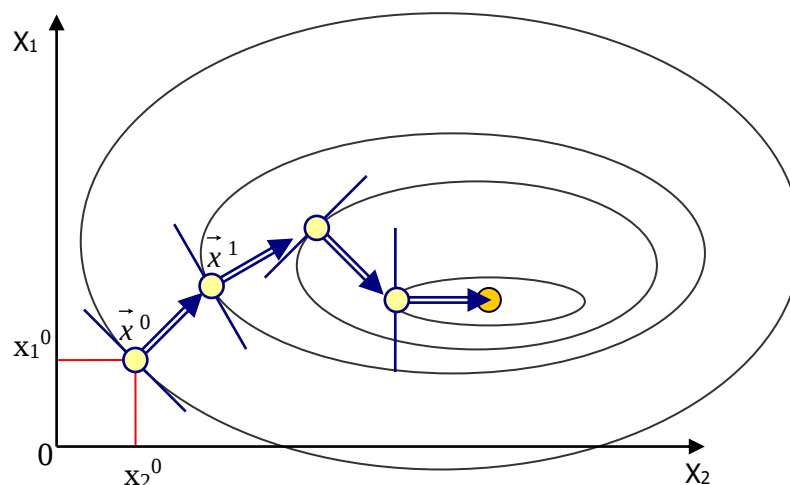


Рисунок 6 - Укрупнений алгоритм gradientного методу (без дроблення кроку)



Безпосередньо *градієнтний метод* пошуку екстремуму передбачає рух у напрямку найбільш швидкої зміни цільової функції (ЦФ). Метод заснований на послідовному знаходженні вектора-градієнта ЦФ, що вказує напрямок до максимуму, і зводиться до визначення градієнта в черговій точці $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, переміщенні в напрямку градієнта (або проти градієнта при мінімізації) у нову точку й повторенні процедури. Переміщення припиняються, коли в черговій точці модуль градієнта стає близьким до нуля.

Послідовність пошуку:

1. Переміститися в довільну початкову точку $\vec{x}^0$.
2. Знайти градієнт $\Delta F(\vec{x})$ у поточній точці і його напрямні косинуси.
3. Якщо модуль градієнта близький до нуля (не перевищує припустиму погрішність), то поточна точка – це точка екстремуму, тоді вихід із процедури.
4. Перейти з поточної точки $\vec{x}^j$ в нову $\vec{x}^{j+1}$, зробивши крок у напрямку градієнта (при пошуку максимуму) або проти градієнта (при пошуку мінімуму).
5. Перейти до пункту 2.

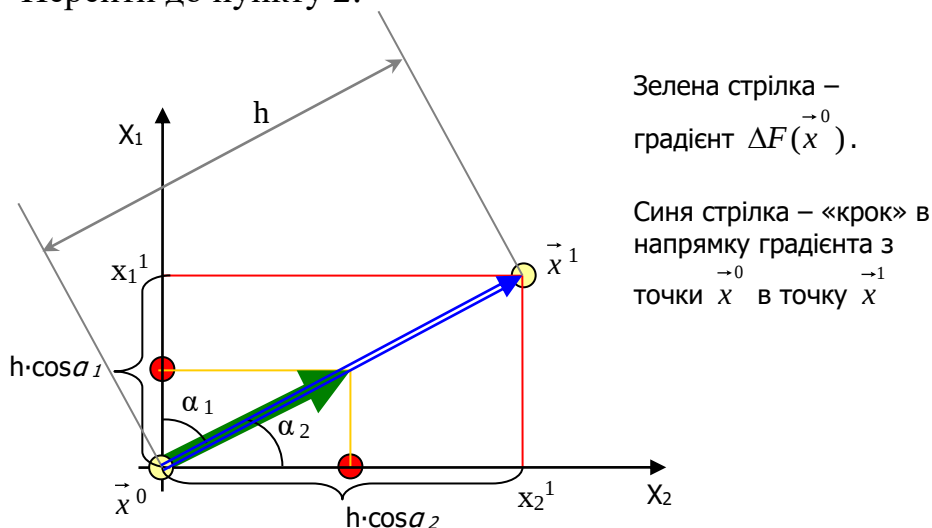


Рисунок 7 – Переміщення в просторі координат

Нехай потрібно зробити «крок» довжиною h у напрямку, заданому напрямними косинусами градієнта, з деякої початкової точки $\vec{x}^j$. Точка з номером $(j+1)$, у якій ми виявимося, визначається наступними координатами:

$$x_i^{j+1} = x_i^j + h \cos \alpha_i \quad \forall i \in [1; n] \quad (5)$$

Метод крутого сходження (найшвидшого спуска). Це метод вимагає ще менших витрат часу, тому що на відміну від градієнтного методу, тут у напрямку обраного градієнта робиться не один, а кілька кроків. Рух в обраному

напрямку триває доти, поки ЦФ не почне погіршуватися, і тільки тоді обчислюється новий градієнт і напрямок пошуку змінюється.

Метод крутого сходження Бокса - Уілсона являє собою покрокову процедуру руху по поверхні відгуку, у якій для оцінки градієнта використовується лінійне рівняння регресії $f(x)=b_0^{(k)}+b_1^{(k)}x_1+b_2^{(k)}x_2+...+b_n^{(k)}x_n$, отримане в результаті планування експерименту навколо точки $x^{(k)}$. Потім відбувається рух по поверхні відгуку в напрямку градієнта з величиною кроку, пропорційної добутку коефіцієнта b_j на інтервал варіювання Δx_j . Рух по поверхні здійснюється доти, поки параметр оптимізації не почне збільшуватися (у випадку пошуку мінімуму). В отриманій точці знову відбувається планування експерименту.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Проаналізувати існуючі способи покращання технологічних властивостей слабкого пшеничного борошна. Визначити недоліки та переваги кожного способу.
2. Скласти описативну модель для процесу, що досліджується.
3. Обрати вхідні та вихідні фактори для досліджуваного процесу. Дані занести до табл. 1.

Таблиця 1 – Основні вхідні та вихідні параметри системи

№ з/п	Основні вхідні параметри	Основний вихідні параметри
1		
2		
3		
4		
5		
...		

4. Скласти модель типу «Чорна шухляда» для процесу, що досліджується.



Рисунок 8 – Модель типу «Чорна шухляда»

Провести ранжування вхідних параметрів та побудувати діаграму рангів (рис.9).

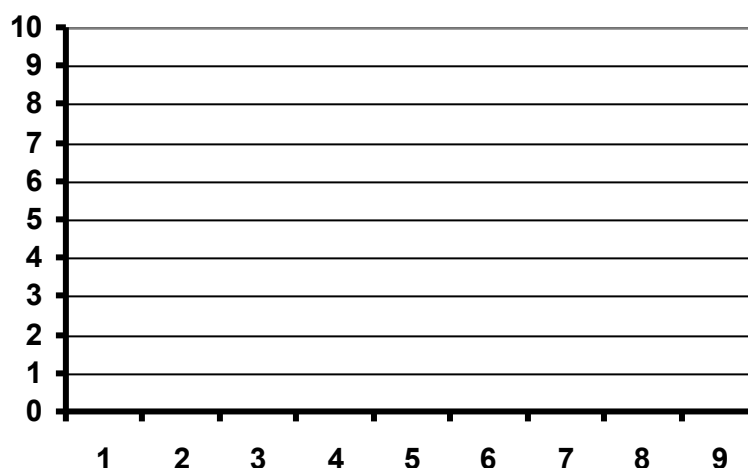


Рисунок 9 – Діаграма рангів вхідних параметрів.

5. Обрати область експериментування для досліджуваних факторів. Дані представити в табл. 2.

Таблиця 2 – Область експериментування для факторів, що досліджуються

Рівень фактора	Кодоване позначення	Фактор варіювання		
		X_1	X_2	X_n
Нульовий рівень	0			
Інтервал варіювання	λ			
Мінімальне значення (X_{min})	-			
Максимальне значення (X_{max})	+			

6. Обрати вид математичної моделі та записати її в загальному вигляді.

$Y =$ _____

6. Скласти матрицю ПФЕ 2^n та здійснити її реалізацію*. Дані занести до табл. 3 та 4.

Таблиця 3 – Матриця повно факторного експерименту для процесу, що досліджується

№ досліду	Рівень фактора					
	Кодована величина			Натуральна величина		
	X_1	X_2	X_n	x_1	x_2	x_n
1						
2						
3						
4						
5						
...						
n						

**для освітньо-кваліфікаційного рівня магістр, кількість оптимізувальних факторів має бути не менше 3.*

Таблиця 4 – Результати реалізації матриці повнофакторного експерименту процесу, що досліджується

№ досліду	Рівень фактора			Функція відгуку			
	X_1	X_2	X_n	y_{i_1}	y_{i_2}	y_{i_3}	$\overline{y_i}$
1							
2							
3							
...							
n							

8. Провести статистичну обробку отриманих експериментальних даних.

9. Знайти коефіцієнти рівняння регресії та провести їх статистичну обробку.

10. Записати уточнене рівняння регресії.

$y =$ _____

11. Розрахувати та реалізувати програму оптимізації досліджуваного процесу, використовуючи алгоритм Бокса – Уілсона. (Нижченаведений алгоритм (Алгоритм Бокса – Уілсона) можна використовувати за умови, якщо отримане рівняння

регресії є лінійним (відсутній коефіцієнт міжфакторної взаємодії). В іншому випадку необхідно провести ліанерізацію рівняння регресії).

11.1 Обчислити добутки $b_i \lambda_i$ для всіх факторів.

11.2 Обрати фактор для якого добуток $b_i \lambda_i$ виявився найменшим за абсолютною величиною. Цей фактор називається **опорним** або **базовим** ($b_j \lambda_j$).

11.3 Визначити крок зміни базового фактора $S_{\text{баз}}$ у натуральній розмірності.

$$S_{\text{баз}} = (0,3 \dots 0,7) \lambda \quad (6)$$

11.4 Знайти коефіцієнти пропорційності K_i - відношення добутків всіх інших факторів до добутку базового фактора ($b_i \lambda_i$):

$$K_i = \frac{b_i \cdot \lambda_i}{\max |b_i \cdot \lambda_i|} \quad (7)$$

Коефіцієнти повинні мати відповідні знаки, що і коефіцієнти рівняння регресії (b_i).

11.5 Розрахувати нові кроки для кожного фактора S_i за формулою:

$$S = S_{\text{баз}} \cdot K_i \quad (8)$$

11.6 Скласти умови нових дослідів – матрицю “крутого сходження” – шляхом додавання або віднімання (залежно від знаку коефіцієнта регресії) до нульового рівня. Дані занести до табл. 5.

Таблиця 5 – Результати оптимізації методом “крутого сходження”.

№ досліду	Значення факторів			Функція відгуку			
	X_1	X_2	X_n	y_{i_1}	y_{i_2}	y_{i_3}	$\overline{y_i}$
1							
2							
3							
4							
5							
...							
n							

12. Записати оптимальні значення досліджуваних факторів.

13. Зробити висновки за роботою _____



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягає сутність процесу оптимізації.
2. Назвіть основні методи оптимізації.
3. У чому особливість градієнтних методів.
4. Назвіть градієнтні методи оптимізації.
5. Назвіть основні переваги методу «крутого сходження».

Лабораторна робота № 6

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ СИМПЛЕКС - ПЛАНУВАННЯ

Мета: навчитися проводити оптимізацію технологічних з використанням методу симплекс – планування.

Об'єкт вивчення: задана технологічна система галузі.

Предмет вивчення: матриця симплекс - планування, дисперсія.

Критерії оцінки знань: знання порядку складання матриці симплекс – планування та її реалізації.



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Симплекс - найпростіший опуклий багатогранник у n -мірному просторі. Правильним n -мірним симплексом називається опуклий n -мірний багатогранник, у якого усі вершини знаходяться на однаковій відстані від центра, а довжина всіх ребер однакова.



Метод передбачає ощадливий багатокроковий процес руху до екстремуму поверхні відгуку з одночасним описом багатофакторної залежності визначеної частини поверхні відгуку.

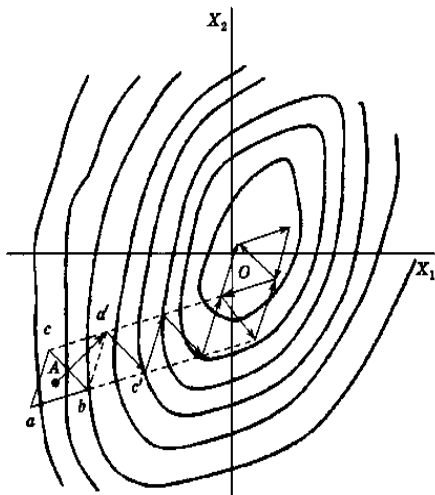


Рисунок 1 – Пошук екстремуму функції відгуку симплекс-методом

За здійснення першої серії, що складається з $(n+1)$ дослідів, визначають точку, яка відповідає найгіршому результату з усіх $(n+1)$ результатів і з'єднують її прямою з центром протилежної грані. На продовженні цієї прямої знаходять точку, віддалену від центра грані на ту ж відстань, що і найгірша точка. Координати цієї точки визначають умови $(n+2)$ – го дослідів. Далі розглядають наступний симплекс, знаходячи для нього найгіршу точку і потім координати нового дослідів і т.д., наближаючись до вершини поверхні відгуку.

Під час розташування початку координат у центрі n – мірного симплекса його висоту необхідно сполучити з будь-якою віссю координат. Умови першої серії дослідів представлені в табл. 1.



Таблиця 1 – Умови першої серії дослідів

i		X_{1i}	X_{2i}	X_{3i}	X_{4i}	X_{5i}	X_{6i}
1		0.5	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109
2		-0.5	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109
3		0	-0.578	0.204	0.158	0.129	0.109
4		0	0	-0.612	0.158	0.129	0.109
5		0	0	0	-0.632	0.129	0.109
6		0	0	0	0	-0.645	0.109
7		0	0	0	0	0	-0.654

Якщо досліджується вплив двох факторів, то необхідно реалізувати два перших стовпці і три рядки таблиці. Якщо досліджується вплив трьох факторів, то необхідно взяти три перших стовпці і чотири рядки і т.д.

Переваги методу симплекс – планування полягають у наступному: метод не вимагає відтворюваності дослідів; має гарну адитивність, помилка досліду не приводить до порушення загального руху до оптимуму, а вимагає лише додаткових дослідів.

До недоліків даного методу можна віднести відсутність можливості оцінити ступінь впливу кожного фактора, а також проводити дослід з якісними рівнями факторів.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Згідно з варіантами обрати процес, оптимізацію параметрів якого необхідно провести.

Варіант 1. Вплив рН-середовища та масової частки гліцерину на якість клейковини пшеничного борошна.

Варіант 2. Вплив потужності мікрохвильової печі та тривалості обробки на швидкість розварювання гречаної крупи.

Варіант 3. Вплив рН-середовища та масової частки цукру на міцність пектинових драглів.

2. Побудувати модель типу “чорна шухляда”, провести ранжування оптимізувальних факторів та обрати параметр оптимізації.



Рисунок 2 – Модель типу «Чорна шухляда»

3. Визначити початкові параметри плану: C_{10} ; C_{n0} ; λ_1 ; λ_n . Дані занести до табл. 2.

Таблиця 2 – Початкові параметри плану

Параметри плану	Значення	Од. виміру
C_{10}		
C_{n0}		
λ_1		
λ_n		

4. Визначити умови початкової серії дослідів при дослідженні впливу оптимізуючих факторів на процес, що досліджується. Дані занести до табл. 3

4.1 Реалізувати першу серію дослідів. Дані занести до табл. 3. З реалізованих дослідів обрати той, що дав найгірший результат.

Таблиця 3 – Умови дослідів

i	X_{1i}	C_{1i}	X_{ni}	C_{ni}	y_i		
	1-й фактор		n-й фактор		1-й крок	2-й крок	3-й крок
1							
2							
3							
n							

4.2 Розрахувати i - координату нової $(n+2)$ точки за формулою 1:

$$x_{i(n+2)} = 2x_{ic} - x_{il} \quad (1)$$

де x_{ic} i - а координата центра протилежної грані

$$x_{ic} = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} x_{ii}}{n} \quad i \neq l$$

У чисельнику зазначена сума координат x_{ii} для всіх дослідів, крім найгіршого, номер якого позначений буквою l .

4.3 Визначити значення факторів у натуральній розмірності (формула 2):

$$C_{ii} = C_{i0} + \lambda_i x_{ii} \quad (2)$$

Дані занести до табл. 3.

4.4 Повторити кроки 4.1 – 4.2, не включаючи дослід, що дав найгірший результат.

Якщо у наступному кроці результат останнього дослідів буде найгіршим з $(n+1)$ дослідів, що складають останній симплекс, то необхідно повернутися до попереднього симплексу. При цьому з попереднього симплексу необхідно виключити не найгірший дослід, а другий із самих поганих, що дозволяє рухатися далі до екстремуму поверхні відгуку.

Якщо всі дослідів дають приблизно однакові результати, то симплекс обертається навколо точки, що відповідає найкращому результату.

4.5 Для перевірки досягнення майже стаціонарної області необхідно поставити m дослідів у центрі експерименту і потім обчислити середнє значення дослідів в центрі експерименту (формула 3):

$$\bar{Y}_o = \frac{\sum_{u=1}^m Y_u}{m} \quad (3)$$

Визначити середнє значення дослідів для всіх умов матриці (без центральних):

$$\bar{Y}_c = \frac{\sum_{j=1}^n Y_j}{n} \quad (4)$$

Дисперсію, що характеризує помилку дослідів визначити за формулою 5:

$$D(Y) = \frac{\sum_{u=1}^m (Y_u - \bar{Y})^2}{m-1} \quad (5)$$

Визначити дисперсію, що характеризує помилку у визначенні середнього значення дослідів:

$$D(\bar{Y}) = \frac{D(Y)}{m} \quad (6)$$

$$t_{обч} = \frac{\bar{Y}_o - \bar{Y}_c}{\sqrt{D(Y)}}$$

Для обраного рівня значимості $(q\%)$ і числа ступенів свободи $(m-1)$ знайти $t_{табл.}$. Якщо $t_{обч.} < t_{табл.}$, то область оптимальних значень ще не досягнута і необхідно продовжувати сходження. Інакше кривизна поверхні відгуку значна і можна вважати, що майже стаціонарна область досягнута.



5. Зробити висновки за роботою, відбивши в ньому оптимальні умови проведення дослідів.



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Розкрийте поняття «симплекс».
2. Що характеризує суть методу симплекс-планування.
4. Назвіть переваги симплекс-планування.
5. Наведіть порядок симплекс-планування.

Лабораторна робота № 7

НАПИСАННЯ НАУКОВИХ ТВОРІВ ЗА ОТРИМАНИМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

Мета: навчитися узагальнювати отримані експериментальні дані у вигляді наукових творів.

Об'єкт вивчення: отримані експериментальні дані.

Предмет вивчення: наукова стаття

Критерії оцінки знань: знання правил написання наукових творів



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Наукова публікація - основний результат діяльності вченого. Головна мета наукової публікації – зробити роботу автора надбанням інших дослідників і позначити його пріоритет у вибраній області досліджень. Відмітною рисою наукових творів є академічний стиль викладення матеріалу. Академічний стиль – це спосіб подачі текстового матеріалу, що визначає наступні норми:

- пропозиції можуть бути довгими й складними;
- часто вживаються слова іноземного походження, різні терміни;
- вживаються вступні конструкції типу «по всій видимості», «на наш погляд»;
- авторська позиція повинна бути як можна менш виражена, тобто повинні бути відсутні займенники «я», «моя (точка зору)»;
- у тексті можуть зустрічатися штампи й загальні слова.

Можна виділити кілька видів наукових творів: монографії, статті, тези доповіді та доповідь.

Монографія - це наукова праця, у якому з найбільш повно досліджується певна тема, тому монографії пишуться рідко.

Найбільший інтерес представляють **наукові статті**, які містять короткий, але достатній для розуміння звіт про проведене дослідження й об'єктивне обговорення його значення. Звіт повинен містити достатню кількість даних і посилань на опубліковані джерела інформації, щоб колегам можна було оцінити й самим перевірити роботу..

Щоб написати гарну статтю необхідно дотримуватися стандартів побудови загального плану наукової публікації й вимоги наукового стилю мови. Це забезпечує однозначне сприйняття й оцінку даних читачами. Основні риси наукового стилю: логічність, однозначність, об'єктивність.

Назва - дуже важливий елемент статті. За назвою судять про всю роботу. Тому заголовок статті повинне повністю відбивати її зміст. У статті треба стисло й чітко викласти сучасний стан питання, ціль роботи, методику дослідження, результати й обговорення отриманих даних.

Стаття, як правило, містить у собі наступні розділи:

- вступ (постановка проблеми);
- аналіз останніх досліджень і публікацій;
- формулювання цілей статті (мети та завдань);
- методи досліджень;
- результати досліджень та їх обговорення;
- висновки;
- список цитованих джерел.

Звичайно стаття включає також анотацію і "Ключові слова", а наприкінці статті також можуть приводитися слова подяки.

У *вступі* має бути обґрунтована актуальність розглянутого питання (що Ви розглядаєте й навіщо?).

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується дана стаття. На Далі формулюються *мета та завдання*. Під час роботи над цими розділами варто застосовувати методики оцінки цілей. Коротко їхній зміст можна виразити так:

- наскільки чітко сформульована основна мета дослідження;
- наскільки повно була використана тематична література;
- повнота вираження актуальності теми;
- чи є ваше дослідження новаторським, або повторює подібні роботи інших авторів.

У розділі "*Методи дослідження*" необхідно представити спосіб вирішення даного питання. Необхідно чітко і зрозуміло вказати методи і методику дослідження таким чином, щоб інші науковці достатньої кваліфікації змогли відтворити дослідження, ґрунтуючись на наведених методах.

В описі методів необхідно приділити увагу наступним моментам:

- вказати характеристику проведення дослідження: плацебо-контрольоване, подвійне сліпе, рандомізоване;
- докладно описати методику вибірки й указати протягом, якого часу проводилося спостереження;
- вказати статистичні методи, які застосовувалися при аналізі результатів.

Результати досліджень та їх обговорення - це основний розділ, ціль якого - показати, якими даними підтверджується робоча гіпотеза й чому представлені результати саме такі, і як вони співвідносяться з основною ідеєю статті. Результати, як правило, найбільш насичені ілюстраціями - таблицями, графіками, фотографіями, які несуть основну функцію доказу, представляючи в узагальненому вигляді вихідний матеріал. Тут же треба вказати характерні риси результатів роботи, оцінити межі роботи, тобто ті рамки, у яких правомірні висновки за результатами роботи. Необхідно порівняти представлені в статті результати з попередніми роботами в цій області, отримані як дослідником, так і іншими авторами.

У висновках необхідно зіставити отримані результати з початковою метою проведення роботи, визначити значення результатів для подальших досліджень.

Обсяг статті – 7-16 сторінок. Якщо матеріал не вкладається в необхідний обсяг, то можна звузити тему, а інші результати розглянути іншим разом.

Приклад оформлення наукової статті наведено у додатку В.

Тези доповідей - це короткі публікації, які, як правило, містять 1-3 сторінки, внаслідок чого вони не дозволяють належною мірою ні відбити результати, ні обговорити їх. Це стислий виклад основних думок, публікація яких передбачає попереднє ознайомлення учасників конференції, семінарів, симпозіумів та інших наукових форумів з результатами проведеного дослідження.

Доповідь – письмовий виклад розгорнутої форми виступу, де автор розкриває суть досліджуваної проблеми; наводить різні точки зору, а також власні погляди на неї. Розрізняють усну й письмову доповідь (за змістом близьку до реферату). У доповіді поєднуються три якості дослідника: вміння провести дослідження, вміння донести результати слухачам і кваліфіковано відповісти на питання.

Структура доповіді може бути умовно розділена на три частини, кожна з яких має свою логіку побудови. Проте ці частини повинні складатися в єдине ціле, кожна наступна частина логічно розвивати ідеї попередньої.

Перша частина доповіді – *вступна*. В ній автор має сформулювати своє розуміння актуальності обраної теми, опираючись на літературні дані, й привести підтвердження наявності проблемної ситуації за темою, що обговорюється. Тут дається коротка критична оцінка результатів досліджень інших авторів, визначення їх переваг і недоліків. У такий спосіб доповідач підводить до мети дослідження, до комплексу завдань, які необхідно було вирішити, щоб ця мета була досягнута. Тут же надається характеристика об'єкта й предмета досліджень, пояснюється методологія свого наукового пошуку, особлива увага приділяється застосуванню методів досліджень.

Друга частина доповіді, *основна* й сама більша за обсягом, має містити результати теоретичних і експериментальних досліджень і їх аналіз. Послідовність викладу результатів визначається логікою дослідження й бажанням самого автора. Найчастіше план цієї частини виступу має виходити зі структури самого дослідження. У доповіді крок за кроком, спираючись на основні результати й висновки, формується в слухачів позитивне сприйняття отриманих результатів. Позитивна оцінка слухачів дуже важлива, оскільки метою виступу є донести до аудиторії нові наукові результати. Найбільш виграшні з погляду наукової новизни й практичної значимості результати варто висвітлювати в першу чергу й докладно, а другорядні можна тільки згадати.

Доповідь закінчується *заключною частиною*, побудованою на висновках. У цій частині мають пролунати всі основні досягнення автора, їх результативність, теоретична й практична значимість для науки.

Текст доповіді має супроводжуватися електронною презентацією, де вказані основні результати у вигляді схем, фотографій, таблиць, графіків тощо. Кількість таких матеріалів, у принципі, не обмежена, проте надмірна надмірна кількість кількості може призвести до розмивання ідеї доповіді й несприйняттю отриманих результатів слухачами. Треба пам'ятати, що супутні ілюстрації повинні здобувачем демонструватися без особливих ускладнень і мати наочність, що викликає позитивну оцінку в присутніх. Обмислюючи, які ілюстрації включати в доповідь, дослідник повинен обмірковувати всі деталі того експерименту, узагальненням якого є ці ілюстрації, а також вірогідність, надійність і відтворюваність результатів, які вони узагальнюють.

Необхідно пам'ятати, що не тільки зміст доповіді, але й стиль її викладу самим автором і впевнені відповіді на питання створюють сприятливу атмосферу для позитивної оцінки роботи:

- мова дослідника має бути спокійною, неквапливою, ясною, граматично точною й упевненою, що дозволить зробити її переконливою й зрозумілою слухачам, при цьому треба пам'ятати, що квапливість, «проковтування» закінчень слів значно знижує враження від виступу;
- доповідь не повинна бути спрощеною, у ній має сполучатися наукова точність аргументування з розумінням широкою аудиторією фахівців розглянутих питань;
- необхідно чітко дотримувати норм літературної вимови, зокрема правила застосування наголосів у словах і словосполученнях, особливо складних для сприйняття;
- треба під час доповіді повторювати іменники, уникаючи займенника;
- бажано використовувати чіткі й короткі стверджувальні пропозиції;
- не слід перевантажувати доповідь складнопідрядними пропозиціями.

Підготувати текст доповіді бажано заздалегідь для того, щоб встигнути кілька разів відрепетирувати виступ. У процесі репетиції варто звернути увагу, на можливі важкі для читання або сприйняття слухачами місця в тексті. Їх варто змінити або оформити більш чітко, наприклад, виділити (підкреслити) ключові слова, на які варто зробити наголос в процесі виступу. Під час репетицій і, особливо, під час доповіді потрібно робити паузи при посиленнях на наочні матеріали, щоб дати час слухачам звернути на них увагу. Мова доповідача повинна мати емоційне забарвлення.

Обсяг доповіді залежить від часу, відпущеного організаторами для виступу, індивідуальних мовних особливостей доповідача й способу викладу доповіді.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ



1. Сформулювати тему статті та доповіді за проведеними експериментальними дослідженнями.

2. Підібрати та проаналізувати основні літературні джерела за даною темою.

3. Обробити та систематизувати матеріал за темою статті.

4. Розробити план статті.

План статті

1.

2.

3.

4.

5.

...

6. Написати наукову статтю за обраною темою досліджень, користуючись додатком А.

7. Сформулювати висновки за роботою.



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які вимоги висуваються до написання тез доповіді.

2. Назвіть основні відмінності тез доповідей від наукової статті.

3. Назвіть основні структурні елементи статті.

4. Що називають академічним стилем.

5. Назвіть основні вимоги до складання доповіді.

6. Назвіть основні складові елементи доповіді.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Що таке технологічний потік?

- a) Система автоматичного управління технологією
- b) Безперервна сукупність процесів перетворення вихідної сировини у кінцевий продукт
- c) Ланцюг транспортних пристроїв

2. Яка характеристика потоку з жорстким зв'язком?

- a) Використовуються накопичувачі для проміжного зберігання
- b) Вихід попередньої операції одразу надходить на вхід наступної
- c) Транспортні процеси здійснюються незалежно від технологічних

3. До якої групи харчових технологій відноситься виробництво хліба?

- a) Фізичні технології
- b) Фізико-хімічні технології
- c) Біохімічні технології

4. Що характерно для операцій III класу?

- a) Незалежність транспортного та технологічного процесів
- b) Дискретна дія транспортного процесу
- c) Поєднання транспортних і технологічних процесів у часі

5. Яка проблема пов'язана із неоднаковою продуктивністю обладнання в технологічному потоці?

- a) Висока вартість електроенергії
- b) Нестабільність якості продукції
- c) Збільшення часу транспортування

6. До якого типу потоку належить виробництво борошна і круп?

- a) Нерозгалужений
- b) Розгалужений, що розходиться
- c) Розгалужений з паралельними гілками

7. Що є основним критерієм при скороченні часу технологічного процесу?

- a) Мінімізація витрат енергії
- b) Збільшення рушійної сили процесу
- c) Зниження температури середовища

8. Який принцип вдосконалення технологічних процесів спрямований на зменшення витрат тепла?

- a) Принцип оптимального варіанту
- b) Принцип раціонального використання енергії
- c) Принцип найкращого використання сировини

9. Який із типів потоку використовується для виготовлення продукції з декількох видів сировини?

- a) Розгалужений, що розходиться
- b) Розгалужений, що сходиться
- c) Розгалужений з паралельними гілками

10. Що є характеристикою IV класу операцій?

- a) Обробка маси здійснюється при транспортуванні через робочу зону за допомогою робочого середовища
- b) Процеси обробки та транспортування відбуваються по замкнутій траєкторії
- c) Технологічна обробка припиняє транспортний процес

11. Що означає принцип багатоплановості у системному підході?

- a) Розгляд об'єкта в одному аспекті
- b) Вивчення об'єкта лише як частини зовнішнього середовища
- c) Розгляд об'єкта в декількох планах, включаючи його властивості, зовнішні взаємодії та мікросистеми

12. Як називають властивість системи, коли її характеристики не є простою сумою властивостей елементів?

- a) Цілеспрямованість
- b) Замкненість
- c) Цілісність (емерджентність)

13. Що визначає вхід системи?

- a) Мета функціонування
- b) Джерело живлення або функціонування системи
- c) Зв'язок із зовнішнім середовищем

14. Який тип зв'язків забезпечує цілісність системи?

- a) Сумарна сила зв'язків між елементами системи більша за зв'язки між системою і середовищем
- b) Слабкі зв'язки між елементами системи
- c) Зовнішні зв'язки із середовищем

15. Що таке системоутворюючий чинник?

- a) Обмеження в межах системи
- b) Нові зв'язки між елементами, що створюють нові властивості системи
- c) Зовнішній вплив на систему

16. Що означає динамічність системи?

- a) Система функціонує без змін у часі
- b) Система статична і не залежить від зовнішніх впливів
- c) Система розглядається в розвитку, враховуючи всі етапи життєвого циклу

17. Як класифікуються системи за характером зв'язків із зовнішнім середовищем:

- a) Складні і прості
- b) Стаціонарні і динамічні
- c) **Відкриті і закриті**

18. Який тип систем взаємодіє з середовищем шляхом обміну енергією, інформацією або масою?

- a) Замкнені системи
- b) Відкриті системи
- c) Ізольовані системи

19. Що характеризує стійкість системи?

- a) Здатність системи до самоорганізації
- b) Здатність зберігати точність показників якості у часі
- c) Взаємодія із зовнішнім середовищем

20. Як називають системи, які виникли без участі людини?

- a) Штучні
- b) Природні
- c) Технічні

21. Що таке моделювання в контексті системного дослідження?
- a) Спосіб отримання нових ресурсів для виробництва.
 - b) Основний метод дослідження та представлення технологічних систем.
 - c) Процес автоматизації виробничого обладнання.
22. Який з елементів належить до характеристик складної системи?
- a) Малий обсяг інформаційних потоків.
 - b) Ієрархічність структури управління системою.
 - c) Невзаємодія із зовнішнім середовищем.
23. Для яких цілей використовується модель "чорний ящик"?
- a) Для деталізованого аналізу внутрішньої структури системи.
 - b) Для моделювання систем без втручання у їх функціонування.
 - c) Для визначення елементів та підсистем технологічної лінії.
24. Що зображує модель структури системи?
- a) Усі можливі зв'язки між об'єктами системи.
 - b) Тільки істотні зв'язки, важливі для досягнення мети.
 - c) Усі елементи, незалежно від їх значення.
25. Який тип математичних моделей описує фізико-хімічні процеси за допомогою чітких залежностей?
- a) Стохастичні моделі.
 - b) Детерміновані моделі.
 - c) Графічні моделі.
26. Яке графічне представлення використовується для відображення процесів перетворення вхідних та вихідних параметрів?
- a) Структурна модель.
 - b) Операторна модель.
 - c) Функціональна модель.
27. Як називається модель, яка відображає склад системи, її структуру та зв'язки з довкіллям?
- a) Модель "чорний ящик".
 - b) Модель "білий ящик".
 - c) Модель складу системи.
28. Яке завдання виконує підсистема С у технологічних лініях?
- a) Підготовка сировини до переробки та створення проміжних напівфабрикатів.
 - b) Отримання остаточного напівфабрикату.
 - c) Упаковка готової продукції.

29. Що визначає параметрична схема технологічної системи?
- a) Лише кінцевий результат процесу.
 - b) Усі фактори, що характеризують процес, включаючи керівні та керовані параметри.
 - c) Тільки матеріальні потоки системи.
30. Що є перевагою операторної моделі?
- a) Спрощена структура без деталізації.
 - b) Можливість об'єднати функціональну та структурну моделі.
 - c) Використання лише для однокомпонентних систем
31. Що є головною метою гідротермічної обробки зерна?
- a) Зменшення вологості зерна перед луценням
 - b) Підвищення крихкості оболонки і покращення якості крупи
 - c) Скорочення часу зберігання продукції
32. Який підхід використовується для аналізу і синтезу технологічних процесів?
- a) Метод експериментальних спостережень
 - b) Метод системного аналізу і синтезу
 - c) Метод моделювання випадкових процесів
33. Що зображується на функціональній схемі технологічного процесу?
- a) Тільки машини і апарати
 - b) Послідовність операцій та їх взаємозв'язок
 - c) Вхідні та вихідні параметри кожного процесу
34. Який параметр є основним для визначення ефективності луцення зерна?
- a) Швидкість подачі зерна до машини
 - b) Коефіцієнт цільності ядра
 - c) Кількість обертів вальця
35. Чому важливо сортувати зерно на фракції перед луценням?
- a) Щоб зменшити кількість дрібного ядра
 - b) Для підвищення ефективності роботи луцильних машин
 - c) Щоб уникнути втрат продуктивності під час сушіння
36. Яка перевага використання операторної моделі в технологічних процесах?
- a) Забезпечення автоматизації технологічного процесу
 - b) Збільшення кількості кінцевого продукту
 - c) Висока якість та кількість інформації, яка міститься у моделі

37. Яким є основне завдання операції лушення зерна?
- a) Зниження вологості зерна
 - b) Максимальне збереження ядра при руйнуванні оболонки
 - c) Зменшення кількості нелущених зерен у фінальній суміші
38. Які чинники є важливими для сортування продуктів після лушення?
- a) Тип сировини та її початкова вологість
 - b) Геометричні параметри сит і кінематичні параметри машини
 - c) Температура середовища в цеху
39. Що визначає коефіцієнт лушення в ефективності процесу лушення?
- a) Вміст нелущених зерен в зерні після лушення
 - b) Співвідношення вмісту цілого ядра до дробленого
 - c) Кількість витрат енергії на обробку
40. Яким чином досягається підвищення споживчих властивостей крупи після гідротермічної обробки?
- a) Підвищення вологості зерна перед сушінням
 - b) Скорочення тривалості варіння і покращення засвоюваності білків
 - c) Розділення на фракції різних розмірів
41. Який оптимальний нахил ситового кузова для ефективного очищення зерна?
- a) А. 5–10%
 - b) 10–15%
 - c) 15–20%
42. Який тип наукових статей описує оригінальні дослідження, проведені автором?
- a) Оглядові статті
 - b) Дослідницькі статті
 - c) Методичні статті
43. Який критерій характеризує зольність зерна до і після оббивної машини?
- a) E
 - b) η
 - c) I

44. Що знижує якість очищення зерна у ситовій системі?

- a) Висока швидкість повітряного потоку
- b) Засміченість ситових отворів
- c) Перекоси у пневмоканалі

45. Який параметр впливає на інтенсивність подрібнення зерна у валкових верстатах?

- a) Ухил рифлей
- b) Довжина рифлей
- c) Колір рифлей

46. Як визначається технологічна ефективність процесу подрібнення?

- a) За допомогою формули для коефіцієнта витягання
- b) За показниками зольності продукту
- c) За співвідношенням вологості зерна

47. Що відбувається при перезволоженні зерна під час помелу?

- a) Підвищується продуктивність обладнання
- b) Знижується витрата енергії
- c) Знижується продуктивність обладнання

48. Який показник використовують для оцінки витягання подрібнених продуктів?

- a) Коефіцієнт ефективності
- b) Міра подрібнення
- c) Індекс витягання

49. Яка кількість рифлей на 1 см довжини кола вальців рекомендується для першої драної системи?

- a) 4,5
- b) 5,5
- c) 6,5

50. Що є основним показником технологічної ефективності просіювання?

- a) Коефіцієнт зольності
- b) Коефіцієнт витягання і коефіцієнт недосіву

с) Вміст крохмалю

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорохович А.М. Оптимізація технологічних процесів галузі : підручник / А. Дорохович, В. Дорохович, Т. Зінченко. – Київ : ІНК ОС, 2016. – 392 с.
2. Шидакова-Каменюка О.Г. Методологія та організація наукових досліджень/ О.Г. Шидакова-Каменюка, О.В. Самохвалова, С.Г. Олійник, О.І. Кравченко. - Харків: ХДУХТ, 2016. – 180 с.
3. Оптимізація технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавр, за освітньою програмою «Технічні та програмні засоби автоматизації» спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Р. Ладієва. - Електронні текстові дані (1 файл: 4,54 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 160 с. - Назва з екрана.
4. Методологія наукових досліджень : навч. посібник / В. Є. Юринець. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 178 с.
5. Оптимізація економічних рішень: навчальний посібник / за ред. Шиян А.В. – Київ: НУХТ, 2014. – 160 с.
6. Крутовий Ж.А., Любар С.В., Манжос Н.В. Оптимізація технологічних процесів: навчальний посібник. – Харків: ХДУХТ, 2011. – 300 с.
7. Boyd, S., & Vandenberghe, L. *Algorithms for Optimization*. Cambridge University Press, 2018. – P. 210–245.
8. Orazbayev, B., et al. "Methods of Multi-Criteria Optimization of Technological Processes in a Fuzzy Environment Based on the Simplex Method and the Theory of Fuzzy Sets." *Mathematics*, vol. 12, no. 18, 2024, article 2856. – P. 12–36

ДОДАТКИ

Приклад визначення стабільності і цілісності технологічної системи

Необхідно визначити стабільність технологічної системи «Виробництво желейного мармеладу», що складає з 5-ти підсистем. Діагностику функціонування технологічної системи проводимо в кілька етапів.

1. Визначаємо, до якого типу можна віднести систему. Припустимо, що дана технологічна система три підсистеми С, одну підсистему В та одну підсистему А, що є залежними підсистемами друг щодо друга.



Рис. 1. Модель технологічної системи виробництва желейного мармеладу

2. Підбираємо формулу розрахунку цілісності системи. Формула буде мати наступний вид, оскільки підсистеми є залежними, а їхнє число дорівнює п'ять:

$$\theta = \eta_{C_3} + \eta_{C_2/C_3} + \eta_{C_1/C_3C_2} + \eta_{B/C_3C_2C_1} + \eta_{A/BC_3C_2C_1} - 4$$

3. Вибираємо вихідні параметри в кожній підсистемі. Цей етап виконується для того, щоб підібрати ті найбільш значимі вихідні параметри в кожній підсистемі, по зміні яких можна судити про стабільність роботи технологічної системи. В якості таких можуть бути прийняті показники вологості, міцності, органолептичні показники тощо.

4. Визначаємо обсяг вибірки виробів у кожній підсистемі. Припускаємо довіряти результатам з 10%-ою імовірністю ($P = 90\%$) при припустимій граничній помилці $\Delta = 0,1$. Вивчаємо якісну залежність, і оскільки частка ознаки серед відібраних зразків невідома, то обсяг вибірки складає 100 шт.

5. Відзначаємо основні статистичні характеристики розподілу величини вихідних параметрів. У якості основних статистичних характеристик вибираємо середнє арифметичне значення вихідного параметра X_i і середнє квадратичне відхилення S_i . Вимірюємо в кожній підсистемі значимий вихідний параметр (i – число вимірів), знаходимо середнє арифметичне значення і розраховуємо середнє квадратичне відхилення: у

підсистемі $C_3 - X_i = 10,2$; $S_i = 0,83$; у підсистемі $C_2 - X_i = 75,5$; $C_i = 0,50$; у підсистемі $C_1 - X_i = 74,2$; $C_i = 0,80$; у підсистемі $B - X_i = 1,8$; $S_i = 0,10$; у підсистемі $A - X_i = 44,0$; $S_i = 2,00$;

6. Приймаємо інтервал, що задовольняє умові стабільності. Таким вважаємо інтервал $X_i \pm 2 \times S_i$. Виділяємо дві області: $(X_i \pm 2 \times S_i)$ – область стабільної роботи; $\dots < X_i \pm 2 \times S_i > \dots$ – область нестабільної роботи. Заносимо в табл. 1 обмірювані та встановлені значення статистичних характеристик (по пробах відповідно до обсягу вибірки).

7. Визначаємо стабільність роботи підсистем і цілісність системи. Використовуємо для розрахунку ентропії в кожній підсистемі формули:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log P_i \quad \sum_{i=1}^n P_i = 1,$$

де: P_i – імовірність вилучення випадкової величини в досліджуваний інтервал.

Зразок визнаємо придатним, якщо величина показника в нього знаходиться в полі нормативного допуску.

таблиця 1

Значення статистичних характеристик

Статистичні характеристики	Основні вихідні параметри підсистем				
	C_3	C_2	C_1	B	A
X_i	10,2	75,5	74,5	1,8	44
S_i	0,83	0,5	0,8	0,1	2
$X_i \pm 2 \times S_i$	$10,2 \pm 1,66$	$75,5 \pm 1,0$	$74,5 \pm 1,6$	$1,8 \pm 0,2$	44 ± 4

Результати обчислень представляємо в таблиці 2. Як видно з таблиці, цілісність системи більше нуля і дорівнює 0,060.

Таблиця 2

Розрахунок стабільності роботи підсистем

Найменування статистичних характеристик	Підсистеми				
	C_3	C_2	C_1	B	A
Обсяг вибірки	100	100	100	100	100
Число проб в інтервалі:					
стабільної роботи	98	99	97	94	97
нестабільної роботи	2	1	3	6	3
Значення P_{1i}	0,98	0,99	0,97	0,94	0,97
Значення P_{2i}	0,02	0,01	0,03	0,06	0,03
$-P_{1i} \log P_{1i}$	0,029	0,014	0,043	0,084	0,043
$-P_{2i} \log P_{2i}^{1)}$	0,113	0,066	0,152	0,244	0,152
Ентропія $H_i^{2)}$	0,142	0,080	0,195	0,328	0,195
Стабільність $\eta_i^{3)}$	0,858	0,920	0,805	0,672	0,805
Цілісність системи					0,060 ⁴⁾

- 1) Значення $-P_{1i} \log P_{1i}$ та $-P_{2i} \log P_{2i}$ визначаємо за таблицею додатка Б, підставивши значення P_1 і P_2 ;
- 2) Ентропію підсистеми H_i розраховуємо як $(-P_{1i} \log P_{1i}) + (-P_{2i} \log P_{2i})$;
- 3) Стабільність підсистеми η_i обчислюємо за формулою $\eta_i = 1 - H_i$.
- 4) Цілісність системи визначаємо за формулою:

$$\theta = \eta C_3 + \eta C_2 / C_3 + \eta C_1 / C_3 C_2 + \eta B / C_3 C_2 C_1 + \eta A / B C_3 C_2 C_1 - 4$$

Таким чином, діагностика показує, що досліджувана система є цілісною; вона складається з п'яти підсистем і при рівні цілісності 0,060 середня стабільність підсистем складає 0,812.

Значення критерію Фішера

Число ступенів волі відтворюваності f_2 (знаменник)	Число ступенів волі адекватності (чисельник)									
	1	2	3	4	5	6	8	12	12	>24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	10,7	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	6,0	5,9	5,8	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,8	4,7	4,5	4,4
6	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,1	4,0	3,8	3,7
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,7	3,6	3,4	3,2
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,4	3,3	3,1	2,9
9	5,1	4,3	4,0	3,6	3,5	3,4	3,2	3,1	2,9	2,7
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	3,1	2,9	2,7	2,5
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9	2,7	2,6	2,4	2,2	2,0
18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,5	2,3	2,1	1,9
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4	2,3	2,1	1,7
25	4,3	3,4	3,0	2,8	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,7
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,3	2,1	1,9	1,6
25	4,3	3,4	3,0	2,8	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,7
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,3	2,1	1,9	1,6
35	4,1	3,3	2,9	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,8	1,5
40	4,1	3,2	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2	2,0	1,8	1,5
50	4,0	3,2	2,8	2,6	2,4	2,3	2,1	1,9	1,7	1,4
60	4,0	3,1	2,8	2,5	2,4	2,2	2,1	1,9	1,7	1,4
88	4,0	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0	1,9	1,6	1,3
100	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0	2,8	1,6	1,3
> 100	3,0	3,0	2,6	2,4	2,2	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3

Значення критерію Кохрена

Число дисперсій N	Число ступенів волі f_1 максимальної дисперсії							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0,999	0,975	0,939	0,906	0,877	0,853	0,833	0,816
3	0,967	0,871	0,798	0,746	0,707	0,677	0,653	0,633
4	0,907	0,768	0,684	0,629	0,590	0,560	0,637	0,518
5	0,841	0,684	0,598	0,544	0,507	0,478	0,456	0,439
6	0,781	0,616	0,532	0,480	0,445	0,418	0,398	0,382
7	0,727	0,561	0,480	0,431	0,397	0,373	0,354	0,338
8	0,680	0,516	0,438	0,391	0,360	0,336	0,319	0,304
9	0,639	0,478	0,403	0,358	0,329	0,307	0,290	0,277
10	0,602	0,445	0,373	0,331	0,303	0,282	0,267	0,254
12	0,541	0,392	0,326	0,288	0,262	0,244	0,230	0,219
15	0,471	0,335	0,276	0,242	0,220	0,203	0,191	0,182
20	0,389	0,271	0,221	0,192	0,174	0,160	0,150	0,142

Значення критерію Стюдента t_{α}

Число ступенів волі	Рівень достовір- ності		Число ступенів волі	Рівень достовір- ності		Число ступенів волі	Рівень достовір- ності	
	95%	99%		95%	99%		95%	99%
1	12,75	63,66	12	2,18	3,06	23	2,07	2,81
2	4,30	9,92	13	2,16	3,01	24	2,06	2,80
3	3,18	5,84	14	2,14	2,98	25	2,06	2,79
4	2,78	4,60	15	2,13	2,95	26	2,06	2,78
5	2,57	4,03	16	2,12	2,92	27	2,05	2,77
6	2,45	3,71	17	2,11	2,90	28	2,05	2,76
7	2,36	3,50	18	2,10	2,88	29	2,04	2,76
8	2,31	3,36	19	2,09	2,89	30	2,04	2,75
9	2,26	3,25	20	2,09	2,84	31	2,02	2,70
10	2,23	3,17	21	2,08	2,83	32	2,00	2,66
11	2,20	3,11	22	2,07	2,82	33	1,98	2,62

УДК 641.1:615.014.423

ЕФЕКТ ЗМІШУВАННЯ СТАБІЛІЗАТОРІВ ЕМУЛЬСІЙ У ХАРЧОВИХ СИСТЕМАХ

к.т.н. Д.П. Лисовська, к.т.н. Е.В. Рощина, Е.Б. Суконкіна

Анотація

В статті розглянуто вплив масла соняшникового та яєчного порошку на ефективну в'язкість емульсій. Встановлено, що підвищення в'язкості і стійкості емульсій можна отримати при внесенні стабілізатора у кількості від 1 до 1,5%. Інші співвідношення компонентів призводять до утворення нестабільної системи.

Abstract

The impact of sunflower oil and egg powder on the effective viscosity of emulsions is considered in the article. It was found that increasing of viscosity and stability of emulsions can be obtained by adding of stabilizer in the range of 1 to 1.5%. Other components ratio leads to the formation of unstable system.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення літературних джерел показує, що найбільш перспективним в стабілізації емульсій зі зниженим вмістом жиру є використання стабілізаційних систем, що володіють синергічним ефектом [1 -3].

Однак сьогодні відсутні свідчення про очікуваний синергічний ефект при утворенні стабілізаційних систем альгінат натрію – агар, що входять в одну групу – природних гідроколоїдів.

...

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження було визначення очікуваного синергічного ефекту альгінат натрію – агар, а також ефективність емульсії на основі компонентів альгінат натрію – агар, масло соняшникове дезодороване, яєчний порошок.

Розчини стабілізаторів та отримані емульсії аналізували за ефективною в'язкістю при температурі 20°C за допомогою ротаційного віскозиметру Реотест.

Перемінними факторами були обрані X_1 – сумарний вміст стабілізатора альгінат натрію : агар (1:1), %; X_2 – вміст соняшникового дезодорованого масла, %; X_3 – вміст яєчного білку.

Результати дослідження. На основі отриманих даних були розраховані вільні члени і коефіцієнти локальних рівнянь $Y_1 + Y_2$, де Y_1 - в'язкість, Y_2 – стійкість емульсії.

Таблиця 1

Фактори	Центр експерименту C_0	Крок, λ_i	Верхній рівень +1	Нижній рівень -1
X_1	1,0	0,5	1,5	0,5
X_2	40,0	5,0	45,0	35,0
X_3	3,5	0,5	4,0	3,0

Відносно обраних умов проведення експерименту (табл. 1) було проведено повнофакторний експеримент, результати якого занесені до табл. 2.

Таблиця 2

План проведення експерименту								
№	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁₂	X ₂₃	X ₁₃	Y _{ср}
1	+	+	+	+	+	+	+	24,7
2	+	+	-	+	-	-	+	25,0
3	+	-	-	+	+	-	-	25,0
4	+	-	+	+	-	+	-	18,6
5	+	+	+	-	+	-	-	30,0
6	+	+	-	-	-	+	-	19,8
7	+	-	-	-	+	-	+	18,0
8	+	-	+	-	-	-	+	26,0

Для наступних розрахунків були використані рівняння:

$$Y_1 = 16,83 + 8,84X_1 + 3,83X_2 - 1,66X_3 + 5,49X_1X_2 + 1,59X_2X_3 + 3,53X_1X_3 \quad (1)$$

$$Y_2 = 67,88 + 24,06X_1 + 5,94X_2 - 7,44X_3 - 5,31X_1X_2 + 6,81X_1X_3 \quad (2)$$

Як видно з рівнянь регресії 1 – 2 значиму дію на кінцевий результат здійснює взаємодія факторів.

Оцінка адекватності рівнянь регресії проведена на основі залишкових дисперсій, ступенів волі і критерію Фішера.

Результати дослідження (рис.1) показують підвищення в'язкості і стійкості можна отримати при внесенні стабілізатора у кількості від 1 до 1,5%. Введення 1% стабілізатору знижує в'язкість. Інші співвідношення компонентів призводять до утворення нестабільної системи.

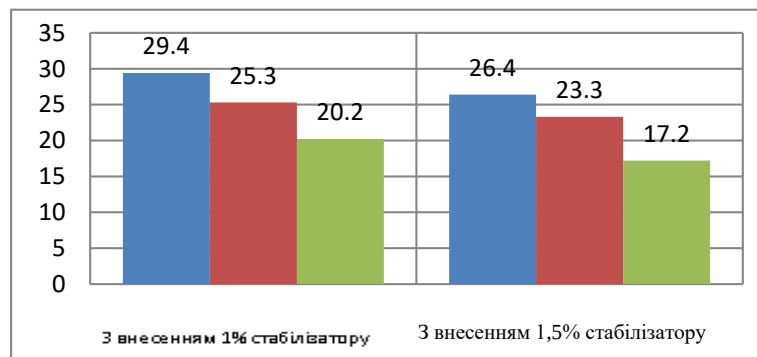


Рис.1. В'язкість модельних емульсій з різним вмістом компонентів

Дослідженнями встановлено, що альгінат натрію разом з агаром володіють синергізмом при певних співвідношеннях компонентів емульсії.

...

Висновки. Отримані результати є основою для виробництва майонезу з введенням вказаних гідро колоїдів у співвідношенні 1:1 і отриманню продукту з підвищеною в'язкістю.

...

Література.

1. Полисахариды как стабилизаторы майонезных эмульсий Л.И. Тарасова [и др.] // Пищевая пром-ть. – 1994. - №11. – с.8.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Лабораторна робота №1. РОЗРАХУНОК СТАБІЛЬНОСТІ І ЦІЛІСНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	5
Лабораторна робота № 2. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ	11
Лабораторна робота №3. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ.....	21
Лабораторна робота №4. ПЛАНУВАННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ І ОБРОБКА ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ	26
Лабораторна робота №5. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ СЛАБКОГО ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА ОЗОНО-ПОВІТРЯНОЮ СУМІШШЮ.....	36
Лабораторна робота №6. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ СИМПЛЕКС-ПЛАНУВАННЯ	48
Лабораторна робота №7. НАПИСАННЯ НАУКОВИХ ТВОРІВ ЗА ОТРИМАНИМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ.....	53
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ.....	59
ЛІТЕРАТУРА.....	66
ДОДАТКИ.....	67

Навчальне видання

**СТРАТЕГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ
ТА НАУКОВОГО ПОШУКУ**
Навчально-методичний посібник
до виконання лабораторних робіт
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 181 Харчові технології,
ОПП «Технології зернопродуктів та зернові ресурси»

Автори-укладачі:

ШАНІНА Ольга Миколаївна
ГАВРИШ Тетяна Володимирівна
ОЛІЙНИК Світлана Георгіївна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 5.1.

Наклад ___ пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44