

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ



Кафедра технічного сервісу
та систем в АПК

ТЕХНОЛОГІЇ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
В ТЕХНІЧНОМУ СЕРВІСІ

Методичні вказівки до практичної роботи №4
на тему: «ПЛАНУВАННЯ ПОВНОГО ФАКТОРНОГО
ЕКСПЕРИМЕНТУ»
для студентів СВО «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»



2020

Технології наукових досліджень в технічному сервісі. Методичні вказівки до практичної роботи №4 для студентів СВО «Магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія» – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2020. – 24 с.

Розробник: доц. Болтянська Н.І.

Рецензент: проф. Журавель Д.П.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри ТСС АПК, протокол № 1 від серпня 2020 р.

Розглянуто і рекомендовано до впровадження в навчальний процес методичною комісією механіко-технологічного факультету, протокол № 1 від 2020 р.

ПЛАНУВАННЯ ПОВНОГО ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Методичні вказівки до практичної роботи №4

МЕТА РОБОТИ – набути навички побудови плану-матриці і плану-схеми повного факторного експерименту.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки (Додаток А)

Вивчити:

- теорія експерименту;
- стратегія побудови математичної моделі;
- планування експерименту;
- основні етапи планування та проведення експерименту.
- Скласти звіт по роботі:*
- номер, найменування та мета роботи;
- теорія експерименту;
- стратегія побудови математичної моделі;
- планування експерименту;
- основні етапи планування та проведення експерименту.

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Теорія експерименту.

1.2.2 Стратегія побудови математичної моделі.

1.2.3 Планування експерименту.

1.2.4 Основні етапи планування та проведення експерименту.

1.3 Рекомендована література

1. Адаменко М. І., Бейлін М. В. Основи наукових досліджень. Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. 188 с.

2. Бобилев В. П., Іванов І. І., Пройдак Ю. С. Методологія та організація наукових досліджень: навчальний посібник. Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. 264 с.

3. Кислий В. М. Організація наукових досліджень: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2011. 224 с.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма робіт

- Визначити нульові рівні чинників та виконати їхнє кодування
- Скласти план-матрицю експерименту.
- Скласти план-схему експерименту.

Скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця

2.2.1 Методичні вказівки.

2.2.2 Навчальна та наукова література.

2.3 Теоретичні відомості

2.3.1 Повний факторний експеримент

Прийняття рішень перед плануванням експерименту

ПФЕ виконують з метою побудови математичної регресійної залежності, що об'єднує різні технологічні або інші фактори з параметром, який необхідно визначити. Цей параметр називають функцією мети. Фактори – це параметри, які впливають на суттєве змінення функцій мети. Наприклад, якщо необхідно зменшити вміст водяної пари в продуктах згоряння, то перш за все аналізують фактори, що впливають на утворення H_2O . Із відомих літературних джерел або із власного досвіду відомо, що суттєвий вплив на вміст H_2O в продуктах згоряння палива має:

- 1 вміст вологи в паливі;
- 2 вміст вологи в повітрі;
- 3 кількість водню в паливі.

Також впливати на функцію мети може коефіцієнт надлишку повітря та інші чинники, наприклад, конструкційні параметри спалюваного пристрою. Таким чином, зазначене регресійне рівняння повинно пов'язувати всі перелічені фактори і будується шляхом статистичної обробки результатів експериментів, що виконуються в суворо регламентованих послідовностях та комбінаціях значень факторів. Для того, щоб фактори в рівнянні повною мірою віддзеркалювали реальний фізичний процес, що досліджується, вони повинні відповідати певним властивостям.

Властивості факторів:

- Фактор заданий, якщо з його назвою задана область його визначення, тобто значення фактору може бути задане у певному інтервалі;
- Фактор повинен бути керованим (утримуватися на заданому рівні, незалежно від рівнів інших факторів);
- Операціональним (є послідовність дій, за допомогою яких встановлюються його рівні);
- Повинна забезпечуватися висока точність заміру фактору;
- Однозначним (тобто фактор не є функцією інших факторів). Наприклад, швидкість дифузії не може бути прийнята як фактор, тому що вона залежить від ряду факторів: концентрації, площі поверхні зіткнення, коефіцієнта розчинення);
- Фактори повинні бути сумісними (безпечними, здійсненними).

Приклади факторів: тиск в експериментальній камері; час витримки при загартовуванні; температура в реакторі; частота зміни води в експериментальній посудині; вага піддослідної тварини; тип хворого, спосіб лікування (гомеопатія, фізіотерапія, медикаментозна).

На кінцевому етапі аналізу апріорної (дослідної) інформації:

- складають список факторів, що включають у реальний експеримент;
- вибирають типи факторів; область визначення; область інтересу; точність виміру;
- визначаються із схемою експериментальної установки;
- аналізують однофакторні залежності; вибір інтервалів варіювання. ранжирування факторів;
- конкретизують мету дослідження.

Складання плану експерименту

ПФЕ називається експеримент, в якому реалізуються всі можливі сполучення рівнів факторів.

Вибір плану визначається метою планованої роботи, типом і кількістю факторів, числом рівнів факторів.

Повинні бути продумані питання, що стосуються можливого числа дослідів, їх здійсненності, наприклад:

- бажане число дослідів та які обмеження по числу дослідів;

- бажаний строк проведення експериментів (тривалість усього дослідження);
- зразкова тривалість одного досліду;
- вартість і витрати праці на проведення одного досліду серії;
- бажане число рівнів для одного фактору;
- можливість виконання паралельних дослідів та їхнє бажане число;
- можливість проведення паралельних вимірів;
- бажана стратегія проведення дослідів, (наприклад по одному в день).

Планування експерименту

На цьому етапі вибирають експериментальний план, що дозволяє вирішити поставлену задачу – обчислити найкращі оцінки коефіцієнтів рівняння регресії.

Експериментальний план – це сукупність експериментів, кожний з яких характеризується набором фіксованих значень керованих змінних.

Повний факторний експеримент реалізує всі неповторні комбінації рівнів n незалежних змінних, кожна з яких змушено варіюється на двох рівнях.

Число таких комбінацій $N=2^n$, де n – число факторів.

При плануванні експерименту здійснюють перетворення незалежних змінних факторів x_i в безвимірні змінні:

$$x_{\delta i} = \frac{(x_i - x_i^*)}{\Delta x_i}$$

де x_i^* - значення керованої змінної, що відповідає початковому базовому режиму;

Δx_i – крок варіювання.

Перехід до безвимірних змінних значно полегшує подальші розрахунки, тому що в цьому випадку верхні та нижні рівні варіювання x_{wi} та x_{ni} у відносних одиницях будуть дорівнювати відповідно:

$$x_{ei} = +1, x_{ni} = -1.$$

Повний факторний експеримент для $n=3$ представлений в табл. 1

Таблиця 1

Повний факторний експеримент типу 2^3

№ дослідю	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$
1	+	-	-	-	+	+		+ -
2	+	+	-	-	-	-		++
3	+	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	+	-	+	-	-	-
5	+	-	-	+	+	-	-	+
6	+	+	-	+	-	+	-	-
7	+	-	+	+	-	-		+ -
8	+	+	+	+	+	+		++

Три стовпчики (x_1, x_2, x_3) керуємих змінних утворюють план експерименту, а інші стовпчики матриці можна одержати шляхом перемноження відповідних значень керуємих змінних.

Матрицю планування для $n=4$ можна побудувати на базі планування 2^3 , при повторі цього способу двічі:

перший раз при значеннях x_4 , що знаходяться на нижчому рівні, а другий раз – на верхньому.

Аналогічно можна одержати плани для як завгодно більшого числа n незалежних змінних. Матриця планування для ПФЕ є ортогональною з лінійно незалежними вектор-стовпчиками.

Проведення експерименту

З метою усереднення вихідної величини y у кожна строчка експериментального плану дублюється декілька разів. В випадку m паралельних дослідів:

$$\bar{y}_g = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_{g,i}, \quad g = 1, 2, \dots, N$$

В разі $m=3$, експеримент поділяється на три серії дослідів, в кожній з яких повністю реалізується ПФЕ. З метою виключення систематичних помилок при обчисленні оцінок коефіцієнтів регресії необхідно **рандомізувати** варіанти варіювання в кожній із трьох серій.

Рандомізація – за допомогою таблиці рівномірно розподілених випадкових чисел визначити послідовність реалізації варіантів варіювання змінних в кожній серії дослідів.

Рандомізація проводиться за наступною схемою. Із таблиці рівномірно розподілених чисел вибирають числа від 1 до 8 (кожне число вибирають тільки один раз). Ці числа вибирають в тому порядку, в якому вони зустрічаються при послідовному обході стовпчиків таблиці, починаючи з першого.

При рандомізації другої серії експериментів за перший стовпчик таблиці приймається стовпчик, який йде наступним за останнім стовпчиком, що використовувався в попередній серії. Аналогічно здійснюється рандомізація третьої серії дослідів.

Так, послідовність реалізації першої серії ПФЕ буде **8,4; 1,6; 5,7; 2,3**.

Методика повного факторного експерименту (ПФЕ)

Метою повного факторного експерименту є одержання лінійної та неповної квадратичної статистичної моделі об'єкту, що досліджується, а саме рівняння регресії.

Аналіз експерименту

Наприклад, для трьох факторної задачі вид моделі (теоретичного рівняння регресії) має вигляд:

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

де b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти, що характеризують ефекти впливу керуємих змінних на цільову функцію;

b_{ij}, b_{123} – коефіцієнти, що характеризують ефекти впливу парних взаємодій змінних та потрійної взаємодії відповідно.

Що ми хочемо одержати як експериментальний результат? Відповідь: $Y=f(x_i, \dots, x_n)$. Функціональна залежність повинна бути простою та інформативною. Установлено, що найкраще підходить поліноміальна модель у вигляді рівняння регресії:

$$y=b_0+b_1x+b_2x^2+\dots+b_ix_i^2$$

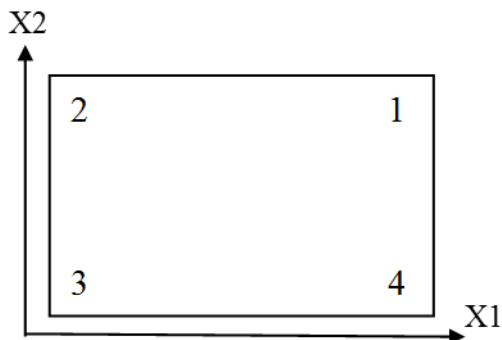
Коефіцієнти рівняння регресії кількісно характеризують вплив кожного фактору на об'єкт дослідження (ОД), а також ефекти взаємодії факторів.

У найпростішому випадку при вивченні впливу 1 фактору одержуємо:

$$y= b_0 + b_1x_1$$

Тут фактор варіює на 2-х рівнях. Число різних дослідів $N=2^n=2^1=2$. План повного факторного експерименту ПФЕ 2^2

Кількість факторів: $n=2$; кількість дослідів $N=2^2 =4$.



Дослід ставимо в 4-х точках. Чотирьох дослідів досить для визначення чотирьох коефіцієнтів рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2.$$

Це неповне квадратне рівняння, що описує поверхню, а не площину. Величини коефіцієнтів залежать від розмірності та від ступеня впливу факторів.

Як виділити чистий вплив фактору? Потрібно звільнитися від одиниць виміру факторів. Ця операція називається «кодування факторів». Полягає вона в наступному:

Нижній рівень фактору приймаємо за -1 ; верхній рівень за $+1$. Середина між ними називається базовим (або основним) рівнем і позначається 0 . У результаті факторний простір перетворюється:

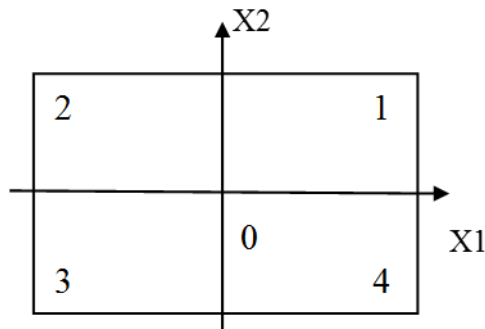


Рис. 1 – Схема координат експериментальних точок

Властивості факторів ПФЕ.

Властивості плану Приклад кодування факторів наведено в табл. 2.

Позначення:

x_i – натуральне значення фактору;

x'_i – кодоване значення фактору;

λ_i – крок (інтервал) варіювання (величина, додаток, якої до основного рівня фактору дає значення верхнього рівня, а відрахування від основного – нижній рівень).

Таблиця 2

Кодування факторів

Фактори	X_i	X_1	X_2	X_3	X'_i кодоване значення
Верхній рівень	$X_{i \text{ вер}}$	600	12	10	+1
Нижній рівень	$X_{i \text{ ниж}}$	300	4	2	-1
Базовий рівень	X_{i0}	450	8	6	0
Шаг варіювання ($X_{\text{max}} - X_{\text{сер}}$ або $X_{\text{сер}} - X_{\text{min}}$)	λ_i	150	4	4	+1

Кодоване значення фактору:

$$x'_i = (x_i - x_{i0}) / \lambda_i$$

Побудова матриці плану експерименту ПФЕ 2^n та розрахунку коефіцієнтів регресії.

Перелік координат експериментальних точок утворює план експерименту (табл. 3):

Таблиця 3

План експерименту:

№	x_1	x_2
1	+1	+1
2	-1	+1
3	-1	-1
4	+1	-1

- Ортогональність: скалярні добутки стовпчиків рівні 0. Коефіцієнти рівнянь регресії визначаються незалежно один від одного; план D – оптимальний.

- Симетричність (число (+) дорівнює числу (-) по кожному стовпчику). Всі коефіцієнти визначаються з мінімальними та рівними дисперсіями (розподіл похибок експерименту).
- Властивості нормування: сума квадратів елементів стовпців дорівнює числу дослідів.

2.3.2 Порядок виконання роботи

Обрати вихідні дані для проведення розрахунків по посадці втулки на вал с підігрівом втулки. Варіанти вихідних даних подані в додатку В.

Визначити нульові рівні чинників та виконати їхнє кодування
Скласти план-матрицю експерименту.

Скласти план-схему експерименту

Вказівки до виконання завдань

Обрати вихідні дані згідно з варіантом з додатку Б та подати у вигляді табл. 4.

Таблиця 4

Вихідні дані (варіант N)

№ чиннику	Чинник	Позначання	Значення
1	Точність виготовлення валу	D_{max} , мм	0,05
		D_{min} , мм	0,01
2	Температура нагріву втулки	t_{max} , °C	240
		t_{min} , °C	180

Розраховують інтервали варіювання чинників:

$$U_D = D_{max} - D_{min}$$

$$U_D = 0,05 - 0,01 = 0,04 \text{ мм}$$

$$U_t = t_{max} - t_{min}$$

$$U_t = 240 - 180 = 60 \text{ °C}$$

Визначаються нульові рівні чинників за формулою

$$D_0 = \frac{U_D}{2} + D_{min}$$

$$D_0 = \frac{0,04}{2} + 0,01 = 0,03$$

$$t_0 = \frac{U_t}{2} + t_{min}$$

$$t_0 = \frac{60}{2} + 180 = 210$$

Проводять кодування рівнів чинників

$$D_{min} = \frac{D_{min} - D_0}{0.5 \cdot U_D}$$
$$D_{min} = \frac{0,01 - 0,03}{0.5 \cdot 0,04} = -1$$

$$D_{max} = \frac{D_{max} - D_0}{0.5 \cdot U_D}$$
$$D_{max} = \frac{0,05 - 0,03}{0.5 \cdot 0,04} = +1$$

$$t_{min} = \frac{t_{min} - t_0}{0.5 \cdot U_t}$$
$$t_{min} = \frac{180 - 210}{0.5 \cdot 60} = -1$$

$$t_{max} = \frac{t_{max} - t_0}{0.5 \cdot U_t}$$
$$t_{min} = \frac{240 - 210}{0.5 \cdot 60} = +1$$

Будують план-схему експерименту (рис. 2)

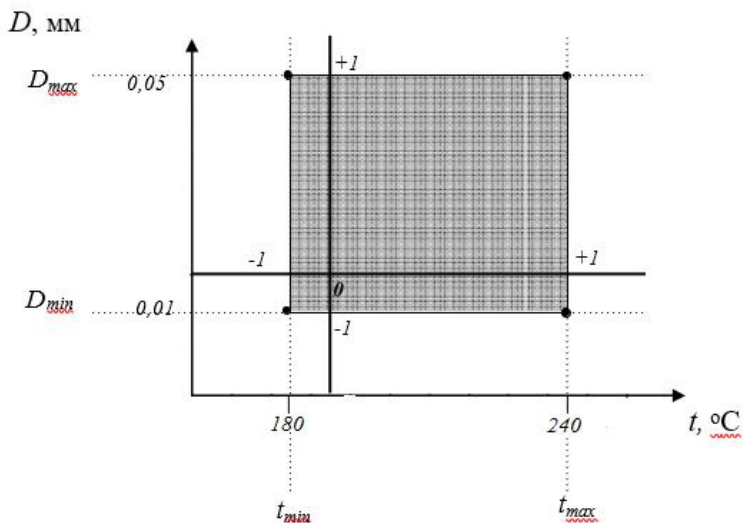


Рис. 2 – План-схема експерименту

Складають план-матрицю експерименту (табл. 5).

Таблиця 5

План-матриця експерименту

Номер експерименту	Чинники і значення їх рівня	
	D	t
1	1 0,05	-1 180
2	1 0,05	1 240
3	-1 0,01	1 240
4	-1 0,01	-1 180

2.4 Хід проведення

2.4.1 Перевірка викладачем самостійної підготовки студентів до лабораторної роботи (наявність письмових відповідей на надані питання).

2.4.2 Викладач знайомить студентів з метою, змістом даної роботи та вимогами до захисту.

2.4.3 Опрацювання студентами матеріалів за п. 2.3.

2.4.4 Захист практичної роботи відбувається за допомогою тестів наприкінці заняття за умови правильного оформлення звіту.

2.5 Після виконання роботи, студент складає звіт, який вміщує дані:

1. Найменування, номер та мету роботи.
2. Теорія експерименту
3. Стратегія побудови математичної моделі
4. Планування експерименту
5. Основні етапи планування та проведення експерименту.
6. Визначення нульових рівнів чинників та їхнє кодування
7. План-матриця експерименту.
8. План-схема експерименту.

Пункти 1,2,3,4,5 студент виконує самостійно, як підготовку до практичного заняття.

2.6 Контрольні запитання

2.6.1 Що таке теорія експерименту?

2.6.2 Стратегія побудови математичної моделі.

2.6.3 Основні етапи планування та проведення експерименту

2.6.4 Етапи підготовки наукового експерименту.

2.6.5 Що таке повний факторний експеримент? Де його використовують?

2.6.6 Властивості факторів ПФЕ.

2.6.7 В чому полягає методика ПФЕ?

2.6.8 Назвіть властивості плану ПФЕ.

2.6.9 З яких етапів складається статистична обробка результатів експерименту?

ДОДАТКИ

Додаток А

А.1 Теорія експерименту

Всі згадувані до цих пір завдання і проблеми не розв'язати без проведення експериментів.

Експеримент займає головне місце серед способів одержання інформації та у внутрішніх взаємозв'язків представлений в природі і техніці. і є відправною точкою та критерієм більшості наших знань. Експерименти та спостереження представляють основу для відкриття більшості відомих нам законів природи та перевірки теоретичних гіпотез. При збільшенні складності досліджуваних процесів та явищ дуже швидко зростають також витрати на апаратуру і проведення експерименту.

На експериментальні установки, такі, наприклад, як прискорювачі елементарних часток у ядерній фізиці, витрачаються величезні гроші. Для проведення деяких спеціальних експериментів потрібна кількість енергії, яка була б достатня для енергопостачання міста середньої величини. При цьому постійно зростає складність розв'язуваних проблем, а великий обсяг інформації, необхідної для з'ясування внутрішніх взаємозв'язків у природі і техніці, змушує застосовувати електронні пристрої обробки інформації.

Значна частина дослідницьких зусиль при розробці або модернізації технологічних процесів визначається витратами на експерименти.

Широке застосування експериментальних методів привело до створення теорії експерименту.

Теорія експерименту – це розділ математичної статистики, у якому викладені методи організації й проведення досліджень, а також інтерпретації експериментальних результатів.

Розвиток статистичних методів планування експерименту пов'язані з ім'ям Р. А. Фішера. В 1935 р. Фішер опублікував монографію «Планування експерименту» («Design of Experiments»), що дала назву новому напрямку досліджень. Роботи Фішера були пов'язані із практичними проблемами агротехнічних досліджень.

Теорія експерименту дає дослідникові точну логічну схему і спосіб рішення завдань на різних етапах дослідження.

Стратегія побудови математичної моделі

Кожне експериментальне дослідження складається з ряду наступних один за одним етапів (рис. А.1): формулювання мети, висування гіпотези про досліджуваний об'єкт, планування експериментів, проведення експериментів, обробка та аналіз результатів, перевірка правильності висунутої гіпотези, висування з гіпотези, перевірка умов закінчення експерименту, планування нового експерименту.

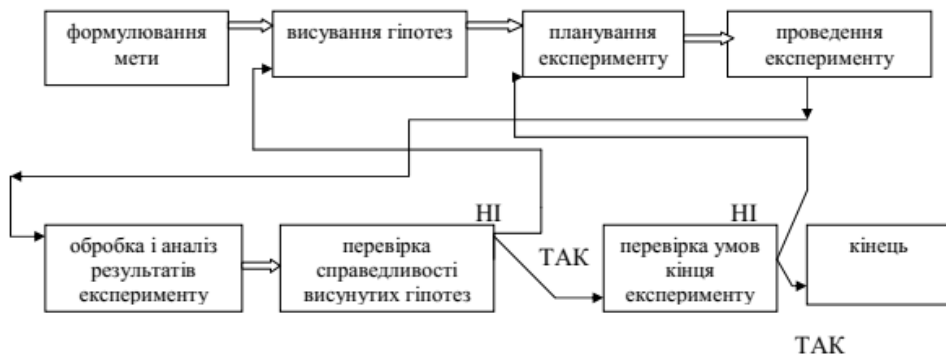


Рис. А.1 – Стратегія побудови математичної моделі

Із цієї схеми ясно, що дослідження об'єкта складається з повторюваних циклів, причому від циклу до циклу росте обсяг знань про об'єкт, так що можна припустити, що висунуті гіпотези усе більше наближаються до дійсності. Разом з тим зростає також ефективність планування експерименту та всього дослідження.

Планування експерименту

Планування експерименту – це процедура вибору числа та умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для рішення поставленого завдання з необхідною точністю.

Анотація до книги В.В. Налімова «Математична теорія експерименту».

Більшість експериментаторів спочатку проводять спостереження, ставлять досліди, ..., і лише потім, коли весь матеріал зібраний, починають думати в тім, як його обробити, як витягти потрібну інформацію.

Вони, звичайно, знають, що є методи математичної статистики, але згадують про них після проведення експериментів. Важко навіть представити собі, який колосальний збиток це приносить! Губиться даремно час, засоби й, частіше, ніж ми думаємо, престиж: багато робіт відхиляються і далі закриваються внаслідок неграмотно спланованих і тому вони не принесли успіху експериментатору.

Планування експерименту – це одержання найбільш економічним способом найбільш надійних висновків. При цьому висновки (або результати) представляються в стандартній формі, що дає можливість їх порівняти з результатами, отриманими другими дослідниками.

Планувати експеримент – це означає вибирати оптимальну схему експерименту, що дає можливість одержати інформацію про об'єкт з мінімальним числом дослідів.

Основні етапи планування та проведення експерименту

Процес планування та проведення експерименту можна розбити на наступні етапи:

- Формулювання завдання;
- Вибір параметра оптимізації (залежної змінної);
- Складання списку факторів, потенційно здатних впливати на параметр оптимізації;
- Складання списку факторів, що реально беруть участь в експерименті;
- Вибір плану експерименту;
- Проведення експерименту та одержання результатів;
- Статистична обробка результатів експерименту;
- Інтерпретація результатів.

Планування експерименту дозволяє:

- Одержати результати у вигляді універсального математичного опису досліджуваного об'єкта з урахуванням дії багатьох факторів, що дає можливість застосовувати результати для різних ситуацій;
- Зменшити помилку експерименту та виключити вплив факторів, що заважають;

- Одержати для досліджуваних об'єктів математичний опис, з оптимальними властивостями;
- На основі чітких формалізованих правил приймати на різних етапах досліджень рішення в подальших діях;
- Швидко здійснювати оптимізацію процесів, не прибігаючи до дорогих досліджень механізмів цих процесів;
- Одержувати кількісні оцінки впливів кожного фактору, а також їхніх взаємодій на досліджуваний процес;
- Скласти поетапну програму досліджень, у якій на перших етапах виконуються орієнтовні дослідження із залученням великої кількості факторів, зафіксованих на багатьох рівнях, а на заключних етапах - докладні експерименти за участю невеликого числа істотних факторів. Критерії оптимальності та типи експериментальних планів.

Схема «чорного ящика» об'єкту досліджень

Методи планування експерименту застосовують при проведенні теплотехнічних досліджень у лабораторних умовах, в експериментах на дослідних, напівпромислових і промислових установках. Об'єктами дослідження можуть бути будь-які теплотехнічні процеси, що відбуваються в апаратах, наприклад, процес сушіння, горіння, генерації тепла, теплообміну, які розглядаються в теорії планування експерименту як керовані процеси залежного від ряду факторів. Наприклад, вологості матеріалу, його кількості, температури теплоносія, швидкості руху теплоносія та інших факторів. Розглядаючи процес сушіння можна виділити ряд факторів, що визначають швидкість сушіння: температура теплоносія, вологість матеріалу, дисперсність, швидкість теплоносія.

Якщо розглядати об'єкт дослідження (рис. А.2), то всі змінні, що визначають стан об'єкта можна розділити на чотири групи:

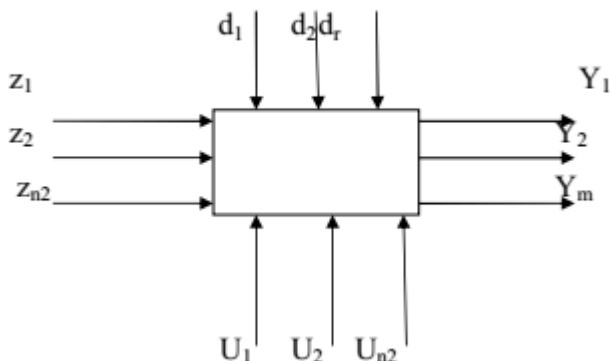


Рис. А.2 – Схема об'єкту дослідження

Схема чорного ящика (об'єкта дослідження) процесу сушіння:

1. Група $Z = (z_1, \dots, z_{n1})$ входять фактори, що характеризують якість сировини або проміжних продуктів і не допускають цілеспрямованої зміни в ході дослідження. До вхідних і проміжних продуктів відносять вихідні речовини або продукти попередніх ланок технологічного ланцюга. Інформація в значеннях змінних виходить у результаті лабораторних аналізів, вимірів. Група Z – контрольовані керовані змінні, що в процесі експерименту можуть змінюватися згідно плану

2. Група $U = (u_1, \dots, u_{n2})$ контрольовані некеровані змінні – утворюють керовані фактори процесу. З їхньою допомогою реалізується заданий технологічний режим (показання витратомірів, положення установок регуляторів). На значення керованих факторів накладаються технологічні обмеження (обмежується область їх припустимих значень).

3. Змінні групи X та U будуть об'єднуватися в групу $X = (x_1, x_n)$ – називаються контрольованими вхідними або незалежними змінними процесу.

4. Змінні групи $Y = (y_1, \dots, y_m)$ називають вихідними – величини, які характеризують економічну ефективність процесу, техніко-економічні параметри, технологічні властивості, характеристики готових продуктів. Змінні цієї групи виступають як цільові величини при оптимізації процесів. Вихідні змінні в деяких випадках можуть бути якісними і

приймати лише кінцеве число дискретних значень (стійкість або нестійкість якого-небудь процесу).

5. Група $D=(d_1, \dots, d_r)$ – неконтрольовані фактори. Вони характеризують діючі на об'єкт збудження, які не можуть бути обчислені кількісно (неконтрольовані домішки в сировину, старіння каталізатора). Вплив неконтрольованих факторів, що повільно змінюються в часі, приводить до дрейфу характеристик об'єкта.

Додаток Б

Б.1 Вихідні дані для розрахунків

Чинники, що впливають якість посадки втулки на вал с підігрівом втулки

Варіант 1

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,05\text{мм}$;
 $D_{min}=0,01\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=250^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=120^{\circ}\text{C}$)

Варіант 2

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,06\text{мм}$;
 $D_{min}=0,02\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=230^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=120^{\circ}\text{C}$)

Варіант 3

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,07\text{мм}$;
 $D_{min}=0,02\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=200^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=150^{\circ}\text{C}$)

Варіант 4

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,07\text{мм}$;
 $D_{min}=0,03\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=220^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=100^{\circ}\text{C}$)

Варіант 5

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,09\text{мм}$;
 $D_{min}=0,04\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=210^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=130^{\circ}\text{C}$)

Варіант 6

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,06\text{мм}$;
 $D_{min}=0,01\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=240^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=120^{\circ}\text{C}$)

Варіант 7

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,09\text{мм}$;
 $D_{min}=0,05\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=280^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=170^{\circ}\text{C}$)

Варіант 8

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,07\text{мм}$;
 $D_{min}=0,03\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=200^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=140^{\circ}\text{C}$)

Варіант 9

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,08\text{мм}$;
 $D_{min}=0,03\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=240^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=160^{\circ}\text{C}$)

Варіант 10

1-й чинник – точність виготовлення валу ($D_{max}=0,09\text{мм}$;
 $D_{min}=0,05\text{мм}$)

2-й чинник – температура нагріву втулки ($t_{max}=270^{\circ}\text{C}$; $\rho_{min}=180^{\circ}\text{C}$)