№ 1 (69) 2013 Вібрації в техніці та технологіях

Лисогор В. М.

Горбатюк Р. М.

Вінницький національний аграрний університет

Шуллє Ю. А.

Вінницький національний технічний університет

Lisogor V. M.

Gorbatyuk R. M.

Vinnytsia National Agrarian University

Shulle Y. A.

Vinnytsia National Technical University

УДК 629.366:621.81 Л 63

ТЕОРІЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДОСЛІДНОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ РЕМОНТОВАНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. *В роботі автори запропонували та розробили теорію методу проведення оптимального експерименту за допомогою таких складових як: матриця експерименту, результати кореляційно-регресійного аналізу, планування експерименту по всім складовим компонентам, реалізації часткового експерименту досліджуваної установки для обробки деталей при ремонті сільськогосподарської техніки. На прикладі матеріалів досліджень методів інтенсифікації процесів фінішної вібраційної абразивної обробки деталей складної конфігурації показано розроблену методику проведення планування експериментальних досліджень та їх обробки. Авторами описані умови планування експериментальних досліджень з використанням дисперсійного, кореляційного, регресійного аналізів, описана методика побудови матриць експериментальних досліджень одно, двох та багатофакторного експериментів.*

Теоретичний базис зв’язав в єдине ціле матеріали дисперсійного, кореляційного, регресійного аналізів, безпосередньої реалізації проведених досліджень.

Ключові слова: *Віброабразивна обробка, електромеханічна установка, коваріація, дисперсійний, регресійний кореляційний аналізи, планування експерименту, багатофакторний аналіз.*

Вступ. Підходи та методи підвищення якості та ефективності ремонту сільськогосподарської техніки на сьогоднішній день мають в Україні пріоритетні значення. Жорстке конкурентне середовище на міждержавному та внутрішньому ринку технічних послуг диктують свої умови. Один з перспективних методів досліджень є планування оптимального експерименту при оптимізації багатофакторних процесів, якими є фінішна віброабразивна обробка деталей сільськогосподарської техніки.

Заслуговує поваги підручник [1], який був написаний для студентів технікумів, де висвітлюються необхідні розділи основ теорії ймовірності, математичної статистики, основ кореляційного, дисперсійного та регресійного аналізів, планування оптимального експерименту.

Відомі підходи і методи, що визначають найважливіші фактори досліджуваного процесу [2]. У зазначеній монографії також розкриті фундаментальні питання визначення поверхонь відгуку, визначення матриць планування експерименту, визначення умов ортогональності, рототабельності, приведені результати досліджень по отриманню рівнянь регресії, визначені ефекти взаємодії різних факторів.

У навчальному посібнику [3] викладені елементи теорії багатофакторного експерименту, які важливі для задоволення наших потреб. На прикладах дослідження конкретних електронних та електромагнітних пристроїв, а також системи масового обслуговування, розглянуті основні етапи організації метрологічного забезпечення, планування та обробки результатів оптимального експерименту. Продемонстровані результати використання емпіричних математичних моделей по визначенню впливу різних факторів на вихідні параметри для розрахунку допусків, точності, параметричної надійності пристроїв та систем автоматики.

У перекладеній з англійської мови монографії [4] представлений метод, що недостатньо повно розроблений у вітчизняних дослідженнях - це використання регресійного аналізу у різного роду електромеханічних системах. Нагадаємо, що регресійний аналіз ми використовуємо для побудови моделі, яка найкраще відповідає набору наших експериментальних даних. Так звана найкраща відповідність не означає, що модель повинна обов’язково в точності співпадати з наявною вибіркою даних, тобто похибка різниці між моделлю та довільною експериментальною точкою, не обов’язково повинна дорівнювати нулю. Найкраща відповідність у нашому розумінні буде мати мінімальну функцію похибки між показниками моделі та реальними даними експерименту. Показником такої функції є сума квадратів похибок моделі та експериментальних даних. Іншими словами, мова буде йти про використання методу найменших квадратів.

Метою публікації є розробка теоретичного базису для проведення оптимального експерименту досліджуваної установки для обробки деталей ремонтованої сільськогосподарської техніки. Теоретичний базис повинен зв’язати в єдине ціле використані матеріали дисперсійного, регресійного аналізу, планування експерименту.

Неформалізований алгоритм вирішення задачі.

Етапи дисперсійного аналізу включатимуть: однофакторний, двофакторний аналіз, дисперсійний аналіз з довільною кількістю спостережень в комірці.

Кореляційний аналіз включатиме: функціональні та статистичні зв’язки, визначення форми зв’язку, властивості коефіцієнта кореляції, обчислення оцінок параметрів двомірної моделі, перевірка гіпотези значущості коефіцієнта кореляції, оцінка кореляційного відношення, оцінки параметрів в багатомірному кореляційному аналізі.

Регресійний аналіз включатиме: формування моделей лінійної та нелінійної регресії, оцінок значимості коефіцієнтів регресії, інтервальної оцінки коефіцієнтів регресії, оцінка моделі багатомірного регресійного аналізу.

Планування оптимального експерименту включатиме: повний факторний експеримент, частковий факторний експеримент, проведення та обробка результатів експерименту.

Матеріали основного результату.

1. Етапи дисперсійного аналізу.

Для проведення дисперсійного аналізу необхідно виконати слідуючі умови: результати спостережень повинні бути незалежними випадковими величинами, що мають нормальне розподілення та однакову дисперсію. Тільки в цьому випадку можна оцінити значимість отриманих оцінок дисперсій, математичних сподівань та побудувати довірчі інтервали.

Більш детально розглянемо результати однофакторного дисперсійного аналізу.

Припустимо, що сукупності розмірів деталей, які обробляються на дослідній установці, мають нормальне розподілення та рівні і однакові дисперсії.

Маємо m режимів обробці експерименту на дослідній установці, отже, m сукупностей або рівнів, на яких проведено n_1, n_2,…n_m спостережень. Для простоти суджень припустимо, що $n_1=n_2=\ldots=n_m$. Шорсткість деталей, що складають n_i спостережень на i-му рівні, позначимо x_{i1}, x_{i1},…, x_{in}. Тоді усі спостереження можна представити у вигляді таблиці, яку називаємо матрицею спостережень (таблиця 1.1)

Таблиця 1.1

Матриця спостережень

Рівні	Спостереження			
	1	2	J	n
1	x_{11}	x_{12}	x_{1j}	x_{1n}
2	x_{21}	x_{22}	x_{2j}	x_{2n}
…	…	…	…	…
i	x_{i1}	x_{i2}	x_{ij}	x_{in}
…	…	…	…	…
m	x_{m1}	x_{m2}	x_{mj}	x_{mn}

Припустимо, що для ***i***-го рівня ***n*** спостережень мають середню β_i , що дорівнюють сумі загальної середньої μ та варіації її, яка обумовлена ***i***-тим рівнем фактора, тобто $\beta=\mu+\gamma_i$. Тоді одне спостереження можна представити так:

$$X_{ij} = \mu + \gamma_i + \xi_{ij} = \beta_i + \xi_{ij}, \qquad (1.1)$$

де μ - загальна середня, γ – ефект, що обумовлений ***i*** – им рівнем фактора, ζ – варіація результатів в середині окремого рівня.

Компонента ζ характеризує вплив всіх факторів, що не враховані в моделі (1.1).

Згідно загальної задачі дисперсійного аналізу, потрібно оцінити вагомість впливу фактора γ на шорсткість деталей. Загальну варіацію змінної x_{ij} розкладемо на частини, одна з яких характеризує вплив фактора γ, інша – вплив неврахованих факторів. Для цього необхідно знайти оцінку загальної середньої μ та оцінки середніх по рівнях β і очевидно, що оцінкою β є середня арифметична ***n*** спостережень ***i***-го рівня, тобто $\overline{X_{i*}} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} X_{ij}$. Зірочка в індексі при *X* означає, що спостереження фіксовані на ***i***-му рівні. Середня арифметична усієї *сукупності* спостережень є оцінкою загальної середньої μ, тобто

$$\overline{X} = \frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \quad \text{або} \quad \overline{X} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\overline{X_{i*}}$$

Знайдемо суму квадратів відхилень X_{ij} від $\overline{X}$, тобто $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-\overline{X}\right)^2$. Представимо її у вигляді:

$$\begin{aligned} Q &= \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-\overline{X}\right)^2 = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-\overline{X_{i*}}+X_{i*}-X\right)^2 = \\ &= \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-X_{i*}\right)^2 + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(\overline{X_{i*}}-\overline{X}\right)^2 + 2\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-\overline{X_{i*}}\right)^2\left(\overline{X_{i*}}-\overline{X}\right) \end{aligned} \qquad (1.2)$$

Причому

$$S = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-\overline{X_{i*}}\right)^2\left(\overline{X_{i*}}-\overline{X}\right) = \sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-\overline{X_{i*}}\right)\sum_{i=1}^{m}\left(X_{ij}-\overline{X_{i*}}\right).$$

Але $\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-X_{i*}\right)=0$, так як це сума відхилень змінних однієї сукупності, тобто $S=0$, другий член суми (1.2) запишемо у вигляді:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(\overline{X_{i*}}-\overline{X}\right)^2 = n\sum_{i=2}^{m}\left(\overline{X_{i*}}-\overline{X}\right)^2$$

Тоді повну тотожність (1.2) можна представити слідуючим чином:

$$\underbrace{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-\overline{X}\right)^2}_{Q} = \underbrace{n\sum_{i=2}^{m}\left(\overline{X_{i*}}-\overline{X}\right)^2}_{Q_1} + \underbrace{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij}-\overline{X_{i*}}\right)^2}_{Q_2};$$

або

$$Q = Q_1 + Q_2 \qquad (1.3)$$

Складові Q є сумою квадратів різностей між середніми рівнів та середньої усієї сукупності спостережень. Ця сума називається *сумою квадратів* відхилень між групами та характеризує розбіжність між рівнями. Величину Q_1 назвемо також *розсіюванням по факторах*, тобто розсіюванням за рахунок досліджуваного фактора. Складова Q_2 є сумою квадратів різниці між окремими спостереженнями та середньою і-го рівня. Цю суму назвемо сумою квадратів відхилень всередині групи, яка характеризує розбіжність між спостереженнями ***i***-го рівня. Величину Q_2 називають також остаточним розсіюванням, тобто розсіюванням за рахунок неврахованих факторів [1]. На кінець, *Q* назвемо загальною або повною сумою квадратів відхилень окремих спостережень від загальної середньої $\overline{X}$.

Знаючи суми квадратів *Q,* Q_1 та Q_2 оцінимо відповідні дисперсії: загальну, міжгрупову та внутрішньо групову.

Оцінимо дисперсії s_1^2, s_2^2, s^2 :

$$s_1^2 = \frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}\left(\overline{X_{i*}}-\overline{X}\right)^2 = \frac{Q_1}{m-1} \qquad (1.4)$$

$$s_2^2 = \frac{1}{m(n-1)}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij} - \overline{X_{i*}}\right)^2 = \frac{Q_2}{m(n-1)} \quad (1.5)$$

$$s^2 = \frac{1}{mn-1}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij} - \overline{X}\right)^2 \quad (1.6)$$

Порівнюючи між групову та остаточну дисперсії, по величині їх відношення будемо судити, наскільки сильно проявляється вплив факторів.

2. Основні результати кореляційно-регресійного аналізу дослідної установки для обробки деталей при ремонті сільськогосподарської техніки.

Визначальними положеннями кореляційного аналізу тут є виявлення зв'язку між випадковими змінними за рахунок точкової та інтервальної оцінки парних коефіцієнтів кореляції, обчислення та перевірка значимості множини коефіцієнтів кореляції та детермінації оцінки часткових коефіцієнтів кореляції. Кореляційний аналіз, також, оцінити функцію регресії одної випадкової змінної на іншу.

Передумови кореляційного аналізу слідуючі:

- Змінні величини повинні бути випадковими;
- Випадкові величини повинні мати сумісне нормальне розподілення;

Розглянемо простий випадок кореляційного аналізу – двовимірну модель. Введемо основні поняття та опишемо принцип проведення кореляційного аналізу. Результати двовимірного випадку легко узагальнити на багатовимірній моделі.

Нехай *X* та *Y* – випадкові змінні, що мають сумісне нормальне розподілення. Тоді для зв'язку між *X* та *Y* [1] представимо у вигляді коефіцієнта кореляції ***ρ***. Цей коефіцієнт визначимо як коваріацію між *X* та *Y* , що віднесена до їх середньоквадратичного відхилення

$$\rho = \frac{\ddot{K}_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}, \text{ або } \rho = M\left\{\frac{X-\mu(x)}{\sigma_X}\frac{Y-\mu(y)}{\sigma_Y}\right\} \quad (2.1)$$

Оцінкою коефіцієнта кореляції є вибірковий коефіцієнт кореляції ***τ***. Для його знаходження необхідно знати оцінки слідуючих параметрів: *M(X), M(Y),* σ_X, σ_Y. Найкращою оцінкою математичного сподівання є середнє арифметичне, тобто $M(X) = \overline{X} = \sum_{i=1}^{n} X_i / n$.

Оцінкою дисперсії буде вибіркова дисперсія, тобто

$$\sigma_X^2 = s_X^2 = \sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2 / n \quad (2.2)$$

Тоді вибірковий коефіцієнт кореляції дорівнюватиме

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)\left(Y_i - \overline{Y}\right)}{n s_X s_Y} \quad (2.3)$$

Коефіцієнт ***ρ*** називають також парним коефіцієнтом кореляції, а ***τ*** вибірковим парним коефіцієнтом кореляції.

При суміщеному нормальному законі розподілення випадкових величин *X* та *Y*, використовуючи розглянуті вище параметри розподілення та коефіцієнт кореляції, отримаємо вираз для умовного математичного сподівання, тобто запишемо вираз для функції регресії одної випадкової величини на другу. Так, функція регресії *Y* на *X* має вид

$$\mu(Y|X = x) = \mu(Y) + \rho\frac{\sigma_Y}{\sigma_X}[X - \mu(X) \quad (2.4)$$

Функція регресії *Y* на *X* матиме вид:

$$\mu(X|Y = y) = \mu(X) + \rho\frac{\sigma_X}{\sigma_Y}[Y - \mu(Y)] \quad (2.5)$$

Вирази $\rho\frac{\sigma_X}{\sigma_Y}$ та $\rho\frac{\sigma_Y}{\sigma_X}$ назвемо *коефіцієнтами регресії*.

Підставивши в (2.4) відповідні оцінки параметрів, отримаємо рівняння регресії, графік яких – пряма лінія, що проходить через точку С $(\overline{X}, \overline{Y})$.

Запишемо рівняння регресії *Y* на *X* та *X* на *Y*:

$$\overline{Y}(X) = \overline{Y} + \tau\frac{s_Y}{s_X}(X - \overline{X}),$$

$$\overline{X}(Y) = \overline{X} + \tau\frac{s_X}{s_Y}(Y - \overline{Y}). \quad (2.6)$$

Таким чином, в кореляційному аналізі на основі оцінок параметрів двомірної нормальної сукупності отримуємо оцінки щільності зв'язку між випадковими змінними та зможемо оцінити регресії однієї змінної на другу. Особливістю кореляційного аналізу є строго лінійна залежність між змінними. Це обумовлюється початковими припущеннями. На практиці кореляційний аналіз можна використовувати для обробки спостережень, взятих при нормальних умовах роботи експериментальної установки.

Відзначимо, що коефіцієнт кореляції обов'язково приймає значення в інтервалі (+1,-1), тобто проходить через нульову точку. Вказане зв'язує підходи дисперсійного, кореляційного, регресійного аналізу, планування експерименту в єдину методологію наших досліджень.

3. Основні результати планування експерименту для дослідної установки з віброабразивної обробки деталей при ремонті сільськогосподарської техніки.

Приступимо до викладення заключних результатів публікації, які присвячені плануванню експерименту.

Розглянемо два питання: повного факторного експерименту, часткового факторного експерименту.

Повний факторний експеримент почнемо з обґрунтування вибору нульового або основного рівня проведення досліджень. Нехай x_{j0} – нульовий рівень, h_j – інтервал варіювання, x_j – значення фактора, j- номер фактора. Для простоти запису та обробки експериментальних даних перейдемо до нової безрозмірної системи координат з початком у центрі досліджуваної області. У новій системі координат значення j-го фактора позначимо X_j. Значення X_j пов'язане з x_j слідуючою формулою:

$$X_j = {(x_j - x_{j0})}/{h_j} \qquad (3.1)$$

Використовуючи (3.1), покажемо, що у новій системі координат x_{j0} прийме значення – 0, верхній рівень $x_{j0}+h_j=x_{jв}$ - значення +1, а нижній рівень $x_{j0}-h_j=x_{jн}$ значення – 1.

Експеримент, у якому реалізуються всі можливі сполучення рівнів факторів, назвемо повним факторним експериментом. Методи обробки інформації повного факторного експерименту ми досліджували у дисперсному аналізі.

Якщо кількість факторів відомо, то при варіюванні факторів на двох рівнях кількість спроб будемо визначати за формулою:

$$N = 2^k \qquad (3.2)$$

де N – кількість спроб (експериментів), k-кількість факторів.

Складемо матрицю планування експерименту для повного факторного експерименту 2^2 (табл.3.1).

Таблиця 3.1

№ досліду	X_1	X_2	Y
1	-1	-1	Y_1
2	+1	-1	Y_2
3	-1	+1	Y_3
4	+1	+1	Y_4

У матриці планування вказують усі можливі сполучення нижніх та верхніх рівнів по кожному з факторів моделі, в останньому стовпці записують значення вихідного параметра, що відповідають визначеним сполученням факторів. Слід зазначити, що інколи в матриці планування одиниці опускають, тоді матриця прийме наступний вид (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

№ досліду	X_1	X_2	Y
1	-	-	Y_1
2	+	-	Y_2
3	-	+	Y_3
4	+	+	Y_4

Очевидно, що для двох факторів усі можливі комбінації рівнів легко знайти перебором, однак з ростом кількості факторів виникає необхідність в іншому методі побудови матриць планування. Розглянемо один із них. З додаванням нового фактора кожна комбінація рівнів початкового плану зустрічається двічі: в сполученні з нижнім та верхнім рівнями нового фактора.

Розглянемо цей прийом при переході від експерименту 2^2 до експерименту 2^3. Запишемо матрицю 2^2 двічі. У стовпці X_3 чотири рази пишемо знак «плюс», потім нижче - чотири рази «мінус» (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

№ досліду	X_1	X_1	X_1	Y
1	-1	-1	+1	Y_1
2	+1	-1	+1	Y_2
3	-1	+1	+1	Y_3
4	+1	+1	+1	Y_4
5	-1	-1	-1	Y_5
6	+1	-1	-1	Y_6
7	-1	+1	-1	Y_7
8	+1	+1	-1	Y_8

Цим способом можна отримати матрицю довільної розмірності.

Розглянемо тепер загальні властивості матриці планування. Як буде показано нижче, ці властивості дозволять швидко та просто розрахувати цільову функцію.

1. Симетричність відносно нульового рівня, тобто алгебраїчна елементів стовпця кожного фактора, дорівнює нулю.

2. Сума квадратів елементів стовпця кожного з факторів дорівнює кількості (спроб) проведених експериментів.

3. Добуто довільних двох вектор-стовпців факторів дорівнює нулю. При цьому кожний стовбець в матриці планування розглядається, як вектор-стовбець, а стрічка - як вектор-стрічка (властивість ортогональності).

4. Дисперсії передбачених значень параметра оптимізації однакові на різних відстанях від нульового рівня (властивості рототабельності матриці планування).

Після того як по вибраній матриці планування експеримент проведений, звичайно переходимо до оцінки параметрів цільової функції. Якщо, наприклад, досліджують два фактори, то функція відгуку може мати вид:

$$X = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \qquad (3.2)$$

При умові того, що фактори варіюють на двох рівнях, по матриці таблиці 3.4 отримуємо числові значення $\boldsymbol{b_0}$, $\boldsymbol{b_1}$, $\boldsymbol{b_2}$.

Таблиця 3.4

№ досліду	X_0	X_1	X_2	Y
1	+1	+1	+1	Y_1
2	+1	-1	+1	Y_2
3	+1	-1	-1	Y_3
4	+1	+1	-1	Y_4

Цю матрицю часто називають розширеною інформаційною матрицею, так як порівняно з матрицею табл. 3.1 в неї введений стовпець X_0, що складається з одних одиниць, який отримав назву фіктивного. У підрозділі двох факторного аналізу наголошено, що при проведенні повного факторного експерименту можна кількісно оцінити не тільки силу впливу факторів на параметр оптимізації, але і ефекти взаємодії, які часто впливають на цільову функцію. Тому, при аналізі двох факторів повний факторний експеримент дозволяє кількісно оцінити такою моделлю:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 \qquad (3.4)$$

Причому для отримання значень $\boldsymbol{b_0}$, $\boldsymbol{b_1}$, $\boldsymbol{b_2}$, $\boldsymbol{b_{12}}$ необхідно використати розширену інформаційну матрицю у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

№ досліду	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	Y
1	1	+1	+1	+1	Y_1
2	1	-1	+1	-1	Y_2
3	1	-1	-1	+1	Y_3
4	1	+1	-1	-1	Y_4

Елементи стовпця X_1X_2 отримуємо построково перемножуючи відповідні елементи стовпців X_1 та X_2. Матриця, що складається з стовпців X_1 , X_2 , X_1X_2, що взяті з таблиці 3.5, зберігає усі властивості матриці експерименту.

Метод планування повного факторного експерименту для дослідної установки з метою проведення віброабразивної обробки деталей ремонтованої сільськогосподарської техніки ми закінчили.

Залишається розглянути питання дробного факторного експерименту.

4. Основні положення часткового факторного експерименту для дослідної установки призначеної для проведення віброабразивної обробки деталей при ремонті сільськогосподарської техніки.

Нехай для опису зазначеної дослідної установки необхідно розрахувати коефіцієнти $\boldsymbol{b_0}$, $\boldsymbol{b_1}$, $\boldsymbol{b_2}$, $\boldsymbol{b_3}$, які присутні у рівнянні (4.1):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 \qquad (4.1)$$

Для визначення числових значень цих чотирьох параметрів необхідно мати чотири рівняння, невідомими у яких є параметри функції що розглядається, тому як мінімум необхідно провести чотири експерименти.

Рівняння пропонуємо записати так:

1-ий експеримент

$$Y_1 = b_0 + b_1 X_{11} + b_2 X_{21} + b_3 X_{31}$$

2-ий експеримент

$$Y_2 = b_0 + b_1 X_{12} + b_2 X_{22} + b_3 X_{32}$$

3-ий експеримент

$$Y_3 = b_0 + b_1 X_{13} + b_2 X_{23} + b_3 X_{33}$$

4-ий експеримент

$$Y_4 = b_0 + b_1 X_{14} + b_2 X_{24} + b_3 X_{34}$$

де Y_i – значення параметра оптимізації в i-му експерименті; X_{ij} – значення j-го фактора в i-му експерименті, $j = \overline{1,3}$, $i = \overline{1,4}$.

Експерименти необхідно проводити згідно матриці планування, що відповідає властивостям, котрі розглянуті в третьому розділі нашої публікації. Якщо припустити, що ефекти взаємодії між факторами відсутні, то вектор-стовпець X_1X_2 можна використати для нового фактора X_3. Матриця планування для цього випадку записана у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

№ досліду	X_0	X_1	X_2	X_3 (X_1X_2)	Y
1	1	+1	+1	+1	Y_1
2	1	-1	+1	-1	Y_2
3	1	-1	-1	+1	Y_3
4	1	+1	-1	-1	Y_4

Отже, при дослідженні трьох факторів за планом повного факторного експерименту необхідно провести вісім різних спроб. Наклавши обмеження про відсутність взаємодії, ми оцінювали параметри моделі (4.1) за допомогою чотирьох спроб по плану з таблиці 4.1.

Аналізуючи вищевказане, стверджуємо, завдання часткового факторного експерименту виконані.

Висновки. Підводячи загальні підсумки бачимо: мета публікації досягнута. Автори вперше в агропромисловому комплексі запропонували та розробили теорію метода проведення оптимального експерименту по складовим: матриці спостережень, результатам кореляційно-регресійного аналізу, планування експерименту по всім складовим компонентам, реалізації часткового експерименту досліджуваної установки для обробки деталей при ремонті сільськогосподарської техніки. Розроблений теоретичний базис зв'язав в єдине ціле матеріали дисперсійного, кореляційного, регресійного аналізів, безпосередньої реалізації проведених досліджень.

Список використаних джерел

1. Математическая статистика: Учебник. / В. М. Иванова, В. Н. Калинина, Л. А. Нешумова. – М. : Высшая школа, 1981, – 368 с.

2. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при порске оптимальних условий. / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976, – 279 с.

3. Егоров А. Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента. / А. Е. Егоров, Г. Н. Азаров, А. В. Коваль. – Харьков. : Государственный университет, объединение «Вища школа», 1986, – 239 с.

4. Ли Т. Г. Управление процесами с помощью вычислительных машин. Моделирование и оптимизация. / Т. Г. Ли, Г. Э. Адамс, У. М. Гейнз. Пер. с англ. – М. : Советское радио, 1972, – 312 с.

Список джерел в транслітерації

1. Matematicheskaya statistika: Uchebnik. / V. Ivanova, V. N. Kalinina, L. A. Neshumov. – M.: Vysshaya shkola, 1981, – 368 s .

2. Adler Yu. P. Planirovaniye eksperimenta pri porske optimalnykh usloviy. / Yu. P. Adler, Ye. V. Markova, Yu. V. Granovskiy. – M.: Nauka, 1976, – 279 s.

3. Yegorov A.Ye. Issledovaniye ustroystv i sistem avtomatiki metodom planirovaniya eksperimenta. / A. Ye. Yegorov, G. N. Azarov, A. V. Koval. – Kharkov. : Gosudarstvennyy universitet, obyedineniye «Vysshaya shkola», 1986, – 239 s.

4. Li T. G. Upravleniye protsessami s pomoshchyu vychislitelnykh mashin. Modelirovaniye i optimizatsiya. / T. G. Li, G. E.. Adams, U. M. Geynz. Per. s angl. –. M. : Sovetskoye radio, 1972, – 312 s.

ТЕОРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ОПЫТНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ РЕМОНТИРУЕМОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. *В работе авторы предложили и разработали теорию метода проведения оптимального эксперимента с помощью таких составляющих как: матрица эксперимента, результаты корреляционно регрессионного анализа, планирования эксперимента, по всем составным компонентам, реализации дробного эксперимента исследуемой установки для обработки деталей при ремонте сельскохозяйственной техники. На примере материалов исследований методов интенсификации процессов финишной вибрационной абразивной обработки деталей сложной конфигурации показана разработанная методика проведения планирования экспериментальных исследований и их обработки. Авторами описаны условия планирования экспериментальных исследований с использованием дисперсионного, корреляционного, регрессионного анализов, описана методика построения матриц экспериментальных исследований одно, двух и многофакторного экспериментов. Теоретический базис связал в единое целое материалы дисперсионного, корреляционного, регрессионного анализов, непосредственной реализации проведенных исследований.*

Ключевые слова: *Виброабразивная обработка, электромеханическая установка,* *коввариация; дисперсионный, регрессионный корреляционный анализы, планирования эксперимента, многофакторный анализ.*

THEORY OF EXPERIMENT OF PILOT ELECTROMECHANICS PLANT FOR TREATMENT OF DETAILS OF THE REPAIRED AGRICULTURAL

Annotation. *In the given article authors offered and developed the theory of method of realization of optimum experiment by such constituents as; matrix of experiment, results of cross-correlation regressive analysis, planning of experiment, components of the tools, realization of partial experiment of the probed fluidizer treatment of details for repair of agricultural technique. On the example of materials of researches of methods of intensification of processes of finish oscillation abrasive treatment of details of the complicated configuration the developed method of realization through of planning of experimental researches and their treatment is shown. Authors described the terms of planning of experimental researches with the use of dispersible, cross-correlation, regressive analyses, the described method of construction of matrices of experimental researches of one, two and multivariable experiments. The theoretical base bound in the unique unit materials of dispersible, cross-correlation, regressive analyses, direct realization of the conducted researches.*

Key words: *vibroabrasive treatment, electromechanics setting, covariance, dispersible, regressive cross-correlation analyses, planning of experiment, multivariable analysis.*