

4. Бондарь А.Г., Статюха Г.П. Планирование экспериментов в химической технологии. К.: Вища школа, 1976. 184 с.
5. Мельников С.В., Алёшин В.Р., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. 168 с.
6. Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П. Планирование эксперимента в электромеханике. М.: Энергия, 1975. 184 с.
7. Назарьян Г.Н. Практический курс планирования эксперимента. Мелитополь: ТГАТА, 1999. 66 с.
8. Новаковская З.Д. Применение методов планирования эксперимента для решения задач синтеза при проектировании шаговых двигателей // Труды МЭИ. М.: МЭИ, 1972, Вып. 138. С. 165-169.
9. Адаменко А.И. и др. Применение методов планирования эксперимента для построения математической модели серии оптимальных вариантов асинхронных двигателей // Проблемы технической электродинамики. Республиканский межведомственный сборник. К.: Наук. думка, 1973, Т. 39. С. 3-14.
10. Дидур В.А. и др. Научное обоснование удельных расходов электроэнергии при очистке зерна методом математического планирования эксперимента // Праці інституту електродинаміки НАН України. Київ, 2008. Вип. 19. С. 94-98.
11. Назарьян Г.Н., Карпова А.П., Постникова М.В. Методология перестройки сложной математической модели объекта исследования методом планирования математического эксперимента для анализа и решения задачи оптимизации объекта // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Наукове фахове видання. Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 12, Т. 2. 2012. С. 93-105.
12. Постникова М.В. Энергосберегающие режимы работы электромеханических систем обработки зерна на зернопунктах: дис... канд. техн. наук: 05.09.03 / ТДАТУ. Мелитополь, 2011. 189 с.
13. Ковальов О.В. та ін. Оптимізація експлуатаційних показників електромоблоку методом планування експерименту // Праці ТДАТУ. Вип. 11, Т. 4. Мелітополь, ТДАТУ, 2011. С. 187-200.

УДК 519.24.001:631(07)

*Марина Постнікова, Сергій Квітка, Ольга Речина
(Мелітополь, Україна)*

**ДО ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
З ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕКТРОПРИВОД ВИРОБНИЧИХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ»
ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

Стаття має дискусійний характер. Пропонується удосконалити практичні заняття з дисципліни «Електропривод виробничих машин і механізмів» для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр».

***Ключові слова:** знання, ефективність процесу навчання, навчальна діяльність, самостійна робота студентів.*

The article has debatable character. It is suggested to perfect practical employments after discipline "Electric drive of industrial machines and mechanisms" for applicants for the degree of higher education "Master".

***Key words:** knowledge, effectiveness of the learning process, learning activities, independent work of students.*

Дисципліна «Електропривод виробничих машин і механізмів» є одною з основних дисциплін у магістрів. Болонська система навчання інтенсивно застосовується для студентів різних спеціальностей. Особливо це стосується спеціальної дисципліни «Електропривод виробничих машин і механізмів» у магістрів.

Без глибоких знань цієї дисципліни неможливо вирішити питання енергозберігаючих режимів роботи електромеханічних систем, які є основними споживачами енергії у виробничих процесах.

Раціональне використання електроенергії у виробничих процесах, оснащених енергоємним технологічним обладнанням, особливо актуально тепер, коли прийнята Національна енергетична програма України з енергозбереження. Тому вивчення цієї дисципліни надає майбутнім магістрам-енергетикам знання ефективного використання електроенергії у галузі електроприводів технологічного обладнання, яке використовується в агропромислових комплексах.

Курс вивчення цієї дисципліни складається з 36 годин лекцій, 36 годин практичних занять, 36 годин лабораторних робіт.

На практичних заняттях ставляться інженерні задачі по кожному модулю з урахуванням сучасних технологій, технологічного обладнання, електродвигунів, апаратів керування та захисту, систем керування.

З нашої точки зору, для більшої ефективності вивчення дисципліни, доцільно удосконалити практичні заняття методами навчально-наукових досліджень, а саме, наукового методу планування математичного експерименту. За допомогою цього методу можливо провести теоретичні наукові дослідження без проведення натурних експериментів, що дає можливість відповісти на питання, як ефективно експлуатувати технологічне обладнання, оптимізувати експлуатаційні показники енергоємних багатофакторних технологічних процесів окремих машин, агрегатів і потокових ліній з забезпеченням мінімальних енергозатрат. При цьому можливо застосовувати, в залежності від параметра оптимізації, плани першого або другого порядку. На прикладі простого плану першого порядку покажемо рішення цього питання.

Застосування багатофакторного планування при дослідженні процесів очищення зерна на потокових лініях дозволяє при порівняно невеликій кількості дослідів визначити оптимальні умови очищення зерна на потокових лініях і надати рекомендації по удосконаленню машин потокових ліній і керуванням процесом очищення зерна.

Для зерноочисної машини агрегату ЗАВ-20, потужність, яку споживає електродвигун можна визначити за формулою [1]

$$P_{\text{спож.}} = \frac{38,348 \cdot Q \cdot G}{B \cdot \gamma \cdot n \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{пер.}} \cdot \eta_{\text{дв.}}}, \quad (1)$$

де $\eta_{\text{пер.}}$, $\eta_{\text{дв.}}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно передачі і електродвигуна.

На структурній схемі математичної моделі спожитої потужності електродвигуна зерноочисної машини (рис. 1) показаний вибір змінних режимних і конструктивних факторів, що впливають на спожиту потужність і вплив постійних параметрів [1].



Рис. 1. Структурна схема математичного моделювання

В математичній моделі (рис. 1) прийнято: x_1 – продуктивність зерноочисної машини, кг/с; x_2 – ширина решета, дм; x_3 – число коливань решітного стана, колив./хв.; x_4 – кут між напрямком коливань і площиною решета, град.; x_5 – коефіцієнт корисної дії передачі, в.о.; x_6 – маса решітного стана, кг; x_7 – коефіцієнт корисної дії електродвигуна, в.о.; y – спожита потужність електродвигуна.

При дослідженні залежності енергетичних характеристик від режимних і конструктивних факторів робочих машин зерноочисного агрегату ЗАВ-20 згідно приведеного алгоритму дослідження (рис. 2) спожитої потужності електродвигунів робочих машин в якості функції відгуку вибрана спожита потужність електродвигунів робочих машин [1].

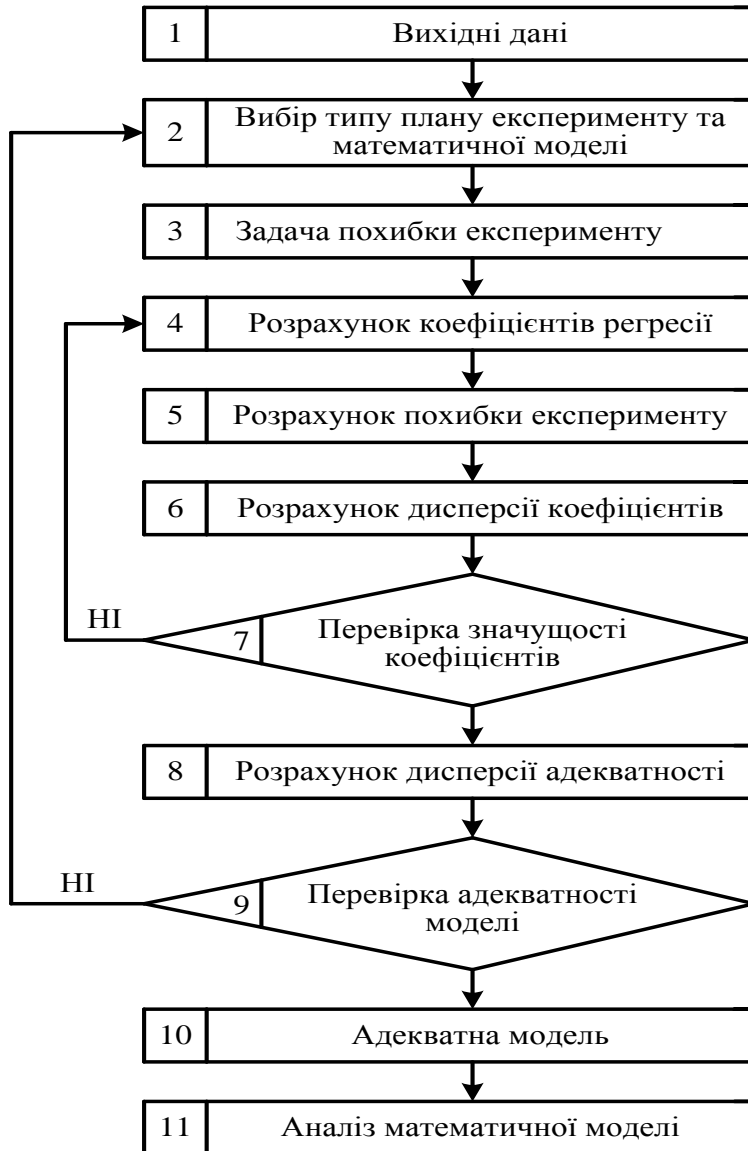


Рис. 2. Алгоритм дослідження спожитої потужності електродвигунів робочих машин процесу очищення зерна

Перевірка відтворюваності дослідів складається в оцінці однорідності рядкових дисперсій в матрицях плану. Для нормального закону розподілення середня квадратична помилка або стандарт

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}, \text{ де } \sigma^2 - \text{дисперсія помилки.}$$

Таблиця 1. Рівні факторів і інтервали варіювання (ЗАВ-10.30000)

Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації

Рівні факторів	Нормована величина	x_1 , т/год.	x_2 , дМ	x_3 , КОЛИВ./ХВ.	x_4 , град.	x_5 , в.о.
Верхній рівень	+1	10,0	10,4	490,0	30,0	0,8
Основний рівень	0	6,5	9,9	440,0	27,0	0,75
Нижній рівень	-1	3,0	9,4	390,0	24,0	0,7
Крок варіювання		$\pm 3,5$	$\pm 0,5$	$\pm 50,0$	$\pm 3,0$	$\pm 0,05$

Таблиця 2. Матриця плану ДФЕ типу 2^{5-2} (ЗАВ-10.30000)

N	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_4=x_1x_2x_3$	$x_5=x_2x_3$	x_1x_2	x_1x_3	Y	\tilde{y}
1	+	-	-	-	-	+	+	+	0,2615	0,2751
2	+	+	-	-	+	+	-	-	0,6974	0,6499
3	+	-	+	-	+	-	-	+	0,2161	0,2535
4	+	+	+	-	-	-	+	-	0,9004	0,8971
5	+	-	-	+	+	-	+	-	0,1903	0,1529
6	+	+	-	+	-	-	-	+	0,7929	0,7965
7	+	-	+	+	-	+	-	-	0,1881	0,1745
8	+	+	+	+	+	+	+	+	0,5017	0,5493
b_i	0,468 6	0,254 6	- 0,017	- 0,0503	-0,0672	- 0,0564	- 0,0051	- 0,0255		

$$S_B^2 \{y\} = 0,0036$$

$$S^2 \{b_i\} = 0,00045$$

$$S_{\text{ад}}^2 \{y\} = 0,00257$$

Припускаємо, що помилка складає 2 %, тобто $\sigma = 0,02$, тоді $3\sigma = 0,06$; $\sigma^2 = 0,0036$. При повному факторному експерименті дисперсія відтворюваності дослідів [5]

$$S_B^2 \{y\} = \sigma^2; \quad S_B^2 \{y\} = 0,0036. \quad (2)$$

Визначаються коефіцієнти рівняння регресії. План (таблиця 2) дозволяє оцінити лінійні ефекти та парні взаємодії. Потрійними та більшими взаємодіями нехтуємо.

Коефіцієнти регресії, що характеризують лінійні ефекти, визначаються за рівнянням [2-4]

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N x_{i,g} \cdot y_g, \quad (3)$$

де $i = 1, 2, \dots, N-1$;

$g = 1, 2, \dots, N$;

N – кількість дослідів.

Коефіцієнти регресії, які характеризують ефекти взаємодії факторів, визначаються за рівнянням

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N x_i \cdot x_j \cdot y_g,$$

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N x_{0,g} \cdot y_g. \quad (4)$$

Для перевірки значущості коефіцієнтів регресії розраховується оцінка дисперсії коефіцієнтів регресії за рівнянням [2-4]

$$S^2 \{b_i\} = \frac{S_B^2 \{y\}}{N \cdot m}, \quad (5)$$

де m – число дослідів в кожному рядку плану.

Середньоквадратичне відхилення дисперсії або помилки коефіцієнта регресії b_i визначається за формулою [2-4]

$$S\{b_i\} = \sqrt{S^2\{b_i\}}. \quad (6)$$

Для кожного коефіцієнта розраховується розрахункові значення [2-4]

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}, \quad (7)$$

де t_{ip} - розрахункова величина t -критерію для i -го коефіцієнта;

$|b_i|$ - абсолютна величина i -го коефіцієнта;

$S\{b_i\}$ – середньоквадратичне відхилення дисперсії коефіцієнта регресії.

Порівнюються теоретичні та табличні значення за критерієм Стьюдента. В результаті розрахунків отримано рівняння регресії для розрахунку енергетичної характеристики зерноочисної машини в залежності від режимних і конструктивних факторів (коефіцієнти значущі)

$$\tilde{y} = 0,5857 + 0,3182x_1 - 0,0629x_3 - 0,084x_4 - 0,0705x_5. \quad (8)$$

Аналіз рівняння регресії (8) показує, що вплив факторів на потужність різний: збільшення продуктивності збільшує значення вихідної величини, а збільшення числа коливань решітного стану, кута між напрямком коливань і площиною решета, а також коефіцієнт корисної дії передачі зменшує значення вихідної величини.

Виконується перевірка моделі на адекватність (критерій Фішера). Порівнюються розрахункові значення рівняння регресії з табличними [2-4]

$$F_p = \frac{S_{ad}^2\{y\}}{S_B^2\{y\}}, \quad (9)$$

де $S_B^2\{y\}$ - дисперсія відтворюваності;

$S_{ad}^2\{y\}$ - дисперсія адекватності моделі, яка визначається за формулою

$$S_{ad}^2\{y\} = \frac{m}{N-d} \sum_{g=1}^N (y_g - \tilde{y}_g)^2, \quad (10)$$

де y_g – значення функції відгуку в g -ому ряді матриці плану;

\tilde{y}_g – розрахункові значення функції відгуку, визначені за розрахунковим рівнянням для умов g -того дослідів плану експерименту;

d – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії.

У випадку адекватності моделі

$$F_p < F_k = F_T. \quad (11)$$

Перевірка показала адекватність рівняння регресії (8). Так як фактори мають різну фізичну природу, різні одиниці виміру, і нарешті, різний порядок значень, для зручності від дійсних значень факторів переходимо до так званих, нормованих. Нормалізація факторів визначається за формулою

$$x_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (12)$$

де x_i і x_{i0} – натуральне і нульове значення факторів.

Значення факторів на верхньому і нижньому рівнях буде

$$x_{in} = x_{i0} - \Delta x_i, \quad x_{ib} = x_{i0} + \Delta x_i.$$

Нормовані значення факторів визначаються

$$x_{i0} = \frac{X_{i0} - X_{i0}}{\Delta X_i} = 0 - \text{базовий};$$

$$x_{iв} = \frac{X_{iв} - X_{i0}}{\Delta X_i} = +1 - \text{верхній}; \quad x_{iн} = \frac{X_{iн} - X_{i0}}{\Delta X_i} = -1 - \text{нижній}.$$

За допомогою формули (12) переходимо до натуральних значень факторів

$$x_1 = \frac{Q - Q_{\text{ср}}}{\Delta Q}, \quad x_3 = \frac{n - n_{\text{ср}}}{\Delta n}, \quad x_4 = \frac{\gamma - \gamma_{\text{ср}}}{\Delta \gamma}, \quad x_5 = \frac{\eta_{\text{пер}} - \eta_{\text{пер ср}}}{\Delta \eta}.$$

Тоді рівняння прийме вигляд

$$P_{\text{спож.}} = 2,36 + 0,09Q - 0,0012n - 0,028\gamma - 1,41\eta_{\text{пер}} \quad (13)$$

Потужність, що споживається машиною з мережі, є підсумком сумарного впливу різних технічних і технологічних факторів. Всі ці фактори впливають незалежно друг від друга.

Як видно з рівняння (13) параметрами, що впливають на спожиту потужність електродвигуна зерноочисної машини ЗАВ-10.30000, є число коливань решітного стана, продуктивність, кут між напрямком коливань і площиною решета, а також коефіцієнт корисної дії передачі.

При рішенні задачі оптимізації складних об'єктів дослідження для адекватного опису області оптимуму, як правило, використовуються поліноми другого порядку виду

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i<j}^n b_{i,j} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \dots,$$

де y – функція цілі;

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти рівняння регресії;

x_i, x_j, x_i^2 – нормовані значення факторів.

Така математична модель може бути отримана на основі планів другого порядку, наприклад, ортогонального центрального композиційного плану (ОЦКП) або ротатабельного центрального композиційного плану (РЦКП).

Таким чином, застосування методу планування математичного експерименту дозволяє магістрам-енергетикам аналізувати ефективність використання електроенергії в технологічних процесах виробництва.

ДЖЕРЕЛА ТА ЛІТЕРАТУРА

1. Постникова М.В. Энергосберегающие режимы работы электромеханических систем обработки зерна на зернопунктах: дис... канд. техн. наук: 05.09.03 / ТГАТУ. Мелитополь, 2011. 189 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.Б. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
3. Мельников С.В., Алёшин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. 168 с.
4. Назарьян Г.Н. Практический курс планирования эксперимента. Мелитополь: ТГАТА, 1999. 66 с.
5. Назарьян Г.Н., Карпова А.П., Постникова М.В. Методология перестройки сложной математической модели объекта исследования методом планирования математического эксперимента для анализа и решения задачи оптимизации объекта // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Наукове фахове видання. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. Вип. 12. Т. 2. С. 93-105.