

УДК 631.371

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОМОТОБЛОКУ МЕТОДОМ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Ковальов О.В., інж.,
Куценко Ю.М., к.т.н.,
Рубцов М.О., к.т.н.,
Назар'ян Г.Н., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет
Тел. (0619) 42-31-59

Анотація – в роботі методом планування експерименту отримана адекватна математична модель області оптимуму параметру оптимізації електромоблоку, в якості якого прийнята сила тяги. На основі графоаналітичного аналізу поверхні відклику за допомогою двомірних перерізів визначені оптимальні значення експлуатаційних показників, що надають умовний екстремум параметру оптимізації.

Ключові слова – матриця планування, рівняння регресії, параметр оптимізації, адекватність моделі, область оптимуму, канонічне перетворення, двомірний переріз, контурні криві.

Постановка проблеми. Основними експлуатаційними показниками електромоблоку є сила тяги F , потужність тягового електродвигуна P , швидкість руху V та повна маса G . Зазвичай експлуатаційні показники визначаються на початковому етапі розробки мотоблоку за результатами аналізу заданих технологічних циклів роботи і умов експлуатації. Оскільки в наш час досвід проектування та експлуатації мотоблоків і культиваторів з електроприводом досить обмежений, тому достатньо актуальною проблемою є теоретичне обґрунтування оптимальних значень експлуатаційних показників електромоблоків різних класів.

Аналіз останніх досліджень. В книзі під редакцією А.П. Пролигіна [1] відмічено, що експлуатаційні показники мають істотний вплив на вибір параметрів тягових електричних машин електромобілів. Підкреслюється, що в процесі проектування тягових електродвигунів повинні враховуватися експлуатаційні показники електромобіля.

Особливий інтерес містять запропоновані розрахункові формули для побудови граничної тягової характеристики $F(V)$ електромобіля і визначення сумарної сили тяги F_{Σ} для встановленого значення швидкості руху $F_{\Sigma} = \psi \cdot G$, де G – експлуатаційна маса електромобіля; ψ – коефіцієнт опору руху. Питання оптимізації експлуатаційних характеристик мобільних електрифікованих транспортних засобів не розглядаються. В роботі [2] наведені результати системних експериментальних досліджень мотоблоків з ДВЗ, а також з тяговим електродвигуном. Приведені рекомендації по оптимальним значенням експлуатаційної маси мотоблоку з точки зору роботи без пробуксовування коліс при оранці важких, середніх та легких ґрунтів. Із останніх публікацій слід відмітити статтю [3], в якій запропоновано порівняно просту та надійну методику розрахунку потужності тягового електродвигуна мотоблоку. Вихідними даними є питомий опір ґрунту і оптимальна швидкість руху агрегату.

Формулювання мети статті. Метою статті є отримання на основі планування математичного експерименту рівняння регресії, яке адекватно описує область оптимуму параметра оптимізації мотоблоку, в якості якого приймається сила тяги F , а також проведення графоаналітичного дослідження області оптимуму і визначення значень експлуатаційних показників мотоблоку близьких до оптимальних.

Основна частина. При рішенні задач оптимізації складних об'єктів для адекватного описання області оптимуму, як правило використовують поліном другого порядку

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{j,i \neq}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i \neq}^n b_{ii} x_i^2. \quad (1)$$

Така математична модель може бути отримана для описання і дослідження області оптимуму параметру оптимізації електромобілю на основі планів другого порядку, наприклад, ортогонального центрального композиційного плану (ОЦКП), методика проведення якого детально описана в літературі по плануванню експерименту [4, 5]. При цьому в якості функції цілі або параметру оптимізації приймається сила тяги мотоблоку F і в якості незалежних змінних: корисна потужність приводного електродвигуна P , швидкість руху V і повна маса мотоблоку G . Позначення факторів та рівні їх варіювання приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактори варіювання та їх рівні

Фактори	P	V	G
Одиниці вимірювання	$кВт$	$м/с$	$кН$
Позначення факторів	X_1	X_2	X_3
Рівні варіювання:			
верхній, $X_{i,B}$	3,0	1,2	2,7
нижній, $X_{i,H}$	0,6	0,4	0,9
нульовий, $X_{i,0}$	1,8	0,8	1,2
Інтервал варіювання, ΔX_i	1,2	0,4	0,9

Кодування або нормалізація факторів проводиться по співвідношенню

$$X_i = \frac{X_i - X_{i,v}}{\Delta X_i} \text{ і, відповідно, } X_{i,B} = +1; X_{i,H} = -1; X_{i,0} = 0. \quad (2)$$

Матриця планування ОЦКП для трьох факторів ($n=3$) представлена в таблиці 2 (стовпці 2, 3 та 4). Загальне число точок плану в факторному просторі складає

$$N = N_\phi + N_\alpha + N_0,$$

де N_ϕ – число дослідів повного факторного експерименту;

N_α – число дослідів в зіркових точках $N_\alpha = 6$;

N_0 – число дослідів в центрі плану.

У відповідності з методикою виконання ОЦКП для забезпечення ортогональності всіх вектор-стовпців матриці плану виконується перетворення квадратичних членів $x_{i,g}^2$ (стовпці 9а, 10а, 11а) в нові, штучні \tilde{x}_i^2 (стовпці 9, 10 та 11) за формулою

$$\tilde{x}_{i,g}^2 = x_{i,g}^2 - \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N x_{i,g}^2, \quad (3)$$

де i – номер фактору ($1, 2, \dots, n$);

g – номер строки матриці плану ($1, 2, \dots, N$).

Для цієї цілі обираються визначеної величини плечі зіркових точок α . При числі факторів $n=3$, $\alpha = \pm 1, 215$.

Таблиця 2 – Матриця ОЦКП для трьох факторів.

№ стовп- ців		1	2	3	4	5	6	7	8	9 _a	10 _a	11 _a	9	10	11	12	13	
Групи точок	<i>g</i>	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	x_1^2	x_2^2	x_3^2	\tilde{x}_1^2	\tilde{x}_2^2	\tilde{x}_3^2	y	\hat{y}	
N_ϕ	1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+0,2699	+0,2699	+0,2699	1,85	1,86	
	2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+0,2699	+0,2699	+0,2699	6,35	6,28	
	3	+1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+0,2699	+0,2699	+0,2699	1,1	1,14	
	4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+0,2699	+0,2699	+0,2699	2,6	2,6	
	5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+0,2699	+0,2699	+0,2699	3,29	3,29	
	6	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+0,2699	+0,2699	+0,2699	7,79	7,68
	7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+0,2699	+0,2699	+0,2699	2,54	2,57
	8	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+0,2699	+0,2699	+0,2699	4,04	4,03
N_α	9	+1	-1,215	0	0	0	0	0	0	+1,476	0	0	+0,7459	-0,7301	-0,7301	2,13	2,1	
	10	+1	+1,215	0	0	0	0	0	0	+1,476	0	0	+0,7459	-0,7301	-0,7301	4,85	4,9	
	11	+1	0	-1,215	0	0	0	0	0	0	+1,476	0	-0,7301	+0,7459	-0,7301	4,22	4,26	
	12	+1	0	+1,215	0	0	0	0	0	0	+1,476	0	-0,7301	+0,7459	-0,7301	2,36	2,29	
	13	+1	0	0	-1,215	0	0	0	0	0	0	+1,476	-0,7301	-0,7301	+0,7459	2,56	2,48	
	14	+1	0	0	+1,215	0	0	0	0	0	0	+1,476	-0,7301	-0,7301	+0,7459	4,3	4,19	
N_0	15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,7301	-0,7301	-0,7301	3,13	3,1	

Для ОЦКП коефіцієнти рівняння регресії визначаються за формулою

$$b_i = \frac{1}{\sum_{g=1}^N x_{i,g}} \sum_{g=1}^N x_{i,g} \cdot y_g, \quad (4)$$

де $i = 0, 1, 2, \dots, K - 1, K$ – номер останнього стовпчика плану;
 y_g – значення функції цілі за даними експерименту (таблиця 2).

ОЦКП дозволяє отримати математичну модель параметру оптимізації для перетворених і не перетворених квадратних членів:

$$\hat{y}_g = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}}^n b_{i,j} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \tilde{x}_i^2; \quad (5)$$

$$\hat{y} = \tilde{b}_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}}^n b_{i,j} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (6)$$

де \tilde{b}_0 – перетворений нульовий член рівняння.
 При цьому

$$\tilde{b}_0 = b_0 - \sum_{i=1}^n b_{i,i} \cdot \frac{1}{N} + \sum_{g=1}^N x_{i,g}^2. \quad (7)$$

Особливість застосування в даній роботі методу планування експерименту полягає в тому, що замість проведення натурального експерименту з фізичним об'єктом, використовується його математична модель з набором розрахункових формул, що визначають функціональну залежність параметру оптимізації від факторів і властивостей досліджуваного об'єкту. Таким чином, замість натурального експерименту застосовано математичний експеримент, що визначає сукупність розрахунків для визначення функції цілі (таблиця 2) у відповідності із значеннями факторів матриці планування за наступним рівнянням

$$F = \frac{P \cdot \eta_\Sigma}{V} + \psi \cdot G, \quad (8)$$

де η_Σ – сумарний ККД електроприводу мотоблоку;
 ψ – сумарний коефіцієнт опору руху коліс.

При цьому для класу мотоблоків, що розглядаються значення η_{Σ} і ψ знаходяться в межах

$$\eta_{\Sigma} = 0,7 \dots 0,8 \text{ і } \psi = 0,65 \dots 0,85.$$

При розрахунках за рівнянням (8) прийнято, що $\eta_{\Sigma} = 0,75$ і $\psi = 0,8$. Оскільки при математичному експерименті відсутня дисперсія відтворюваності функції цілі $S_B^2\{y\}$, необхідна для статистичної оцінки отриманих даних, значення $\hat{S}_B^2\{y\}$ вводиться штучно такої величини, щоб забезпечити необхідну точність розрахунків. В даній роботі прийнято

$$S_B^2\{y\} = (3\sigma)^2 = (3 \cdot 0,02)^2, \quad (9)$$

де $\sigma = 0,02$ – прийнята середня квадратична помилка (2%), або стандарт.

У відповідності з (4) отримані наступні значення коефіцієнтів рівнянь (5) і (6):

$$b_0 = 3,54; b_1 = 1,4; b_2 = -1,03; b_3 = 0,72; \\ b_{12} = -0,75; b_{13} \cong 0; b_{23} \cong \emptyset; b_{123} = -0,0025.$$

Оцінка значимості коефіцієнтів рівнянь регресії визначається за t-критерієм Стьюдента за умови

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_B\{y\}} > t_T = 2,131, \quad (10)$$

де t_{ip}, t_T – розрахункове і табличне значення критерію;

$|b_i|$ – абсолютне значення і-того коефіцієнту;

$S_B\{y\} = 0,06$ – визначається за рівнянням (9).

Не значимими виявилися коефіцієнти b_{13}, b_{23}, b_{123} і тому рівняння регресії (6) з урахуванням перерахунку вільного коефіцієнту \tilde{b}_0 за рівнянням (7) в кінцевому варіанті прийме вигляд

$$\hat{y} = 3,1 + 1,4x_1 - 1,03x_2 + 0,72x_3 - 0,75x_1x_2 + 0,26x_1^2 + 0,12x_2^2 + 0,22x_3^2. \quad (11)$$

За рівнянням (11) визначаємо розрахункові значення функції цілі \hat{y} для кожної строки матриці плану (таблиця 2) з урахуванням стовпців

2, 3, 4, 5, 9а, 10а та 11а. Розрахункові дані приведені в стовпці 13.

Адекватність отриманого рівняння регресії (11) перевірялась за F-критерієм Фішера за умовою

$$F_p = \frac{S_{ad}^2 \{\hat{y}\}}{S_B^2 \{y\}} < F_T, \quad (12)$$

де F_p, F_T – розрахункове і табличне значення критерію Фішера;

$S_B^2 \{y\}$ – дисперсія відтворюваності, визначається за рівнянням (9).

При цьому

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-d} \sum_{g=1}^N (y_g - \hat{y}_g)^2, \quad (13)$$

де d – число значимих коефіцієнтів рівняння (11), враховуючи і b_0 , і відповідно, $N-d=8$;

m – число паралельних дослідів. Приймається при математичному експерименті $m=1$.

Значення y_g і \hat{y}_g обираються по кожній строчці в стовпцях 12 і 13 таблиці 2.

За результатами розрахунків $S_{ad}^2 = 0,0093$, з урахуванням (9) $S_B^2 \{y\} = 0,0036$ і табличного значення $F_T = 2,64$, умову (12) можна записати у вигляді

$$F_p = \frac{0,0093}{0,0036} = 2,58 < F_T = 2,64, \quad (14)$$

і рівняння регресії (11) є адекватним. Рівняння регресії (11) з урахуванням даних таблиці 1 і співвідношеннями між факторами в фізичних та кодованих одиницях

$$P = x_1 \cdot 1,2 + 1,8 [\text{кВт}]; \quad V = x_2 \cdot 0,4 + 0,8 [\text{м/с}]; \quad G = x_3 \cdot 0,9 + 1,2 [\text{кН}] \quad (15)$$

може бути представлено через фактори P , V та G в фізичних одиницях

$$F = 1,31 + 1,77P - 0,97V - 0,15G + 1,56DV + 0,18P^2 + 0,75V^2 + 0,27G^2. \quad (16)$$

Отримане адекватне рівняння параметру оптимізації мотоблоку

(11) в наведеному вигляді достатньо ускладнює дослідження області оптимуму, тому його необхідно представити в типовій канонічній формі. Перехід до канонічної форми виконується переносом початку координат факторного простору в точку центру поверхні відклику і поворотом осей на визначений кут в факторному просторі. При цьому паралельний перенос початку координат в центр усуває лінійні члени і змінює величину вільного члену в вихідному рівнянні, а поворот осей виключає взаємодію факторів.

В результаті канонічного перетворення, рівняння (11) прийме вигляд

$$Y - Y_S = B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2, \quad (17)$$

де Y – значення параметру оптимізації;

Y_S – значення параметру оптимізації в центрі поверхні відклику, тобто в новому початку координат;

X_1, X_2, X_3 – канонічні змінні, які є лінійними функціями факторів;

$B_{11}; B_{22}; B_{33}$ – коефіцієнти канонічного рівняння.

Перенос початку координат і поворот осей здійснюється за відомими правилами аналітичної геометрії.

Для визначення координат нового центру поверхні відклику S рівняння (11) слід продиференціювати по кожній змінній x_i і частинні похідні прирівняти нулю:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} &= 1,4 - 0,75x_2 + 0,52x_1 = 0, \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} &= -1,03 - 0,75x_1 + 0,24x_2 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} &= 0,72 + 0,44x_3 = 0, \end{aligned} \quad (18)$$

рішаючи систему рівнянь (18), отримаємо значення координат центру поверхні відклику S

$$x_{1S} = -0,997; \quad x_{2S} = 2,558; \quad x_{3S} = -1,636. \quad (19)$$

При підстановці значень координат в вихідне рівняння (11) визначаємо величину параметру оптимізації $Y_S = 1,432$.

Координатам x_{1s} ; x_{2s} і x_{3s} , а також величині y_s відповідають наступні значення факторів і функцій цілі в фізичних одиницях згідно (15):

$$\begin{aligned} P &= x_{1s} \cdot 1,2 + 1,8 = 0,60 \text{ кВт}; \\ V &= x_{2s} \cdot 0,4 + 0,8 = 1,82 \text{ м / с}; \\ G &= x_{3s} \cdot 0,9 + \cancel{1,2} - 0,27 \text{ кН}; \\ F &= 1,432 \text{ кН}. \end{aligned} \quad (20)$$

Для отримання аналітичної і графічної інтерпретації області оптимуму використовуємо метод двовірних перерізів поверхонь відклику.

Розглянемо приклади побудови контурних кривих за отриманим рівнянням параметру оптимізації (11).

1. Приймаємо в (11) $x_1 = 0$, що відповідає значенню фактору $P = 1,8 \text{ кВт}$. Двовірний переріз поверхні відклику в цьому випадку буде характеризувати параметр оптимізації в залежності від швидкості руху (x_2) і маси (x_3) мотоблоку. Рівняння (11) прийме вигляд

$$\hat{y} = 3,1 - 1,03x_2 + 0,72x_3 + 0,12x_2^2 + 0,22x_3^2. \quad (21)$$

Визначимо координати центру поверхні S_z в результаті рішення системи рівнянь в частинних похідних:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} &= -1,03 + 0,24x_2 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} &= 0,72 + 0,44x_3 = 0; \\ x_{2s} &= 4,292; \quad x_{3s} = -1,636. \end{aligned} \quad (22)$$

Після підстановки значень x_{2s} та x_{3s} в (21) визначиться величина параметру оптимізації $Y_s = 0,301$. Проводимо канонічне перетворення рівняння (18), характеристичний детермінант якого має вигляд

$$f(B) = \begin{vmatrix} b_{11} - B & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{11} - B \end{vmatrix} = 0 \quad (23)$$

Рішення (23) записуємо в вигляді рівняння

$$B^2 - a_1 B + a_2 = 0,$$

де $a_1 = (\epsilon_{11} + \epsilon_{22}) = 0,12 + 0,22 = 0,34$;

$a_2 = (\epsilon_{11} \cdot \epsilon_{22} - 0,23 \cdot \epsilon_{12}^2) = (0,12 \cdot 0,22 - 0,23 \cdot 0^2) = 0,0264$, і після підстановки отримаємо

$$B^2 - 0,34B + 0,264 = 0.$$

Два корні цього рівняння $B_{11} = 0,12$ та $B_{22} = 0,22$ і визначають значення коефіцієнтів рівняння регресії в канонічній формі

$$Y - 0,301 = 0,12X_1^2 + 0,22X_2^2. \tag{24}$$

Так як коефіцієнти B_{11} та B_{22} мають однакові знаки, то контурні криві будуть еліпсами. Контурні криві для значень $Y_s = 0,301$ (центр); 0,29; 0,27; 0,25; 0,23; 0,21; 0,19 приведені на рисунку 1.

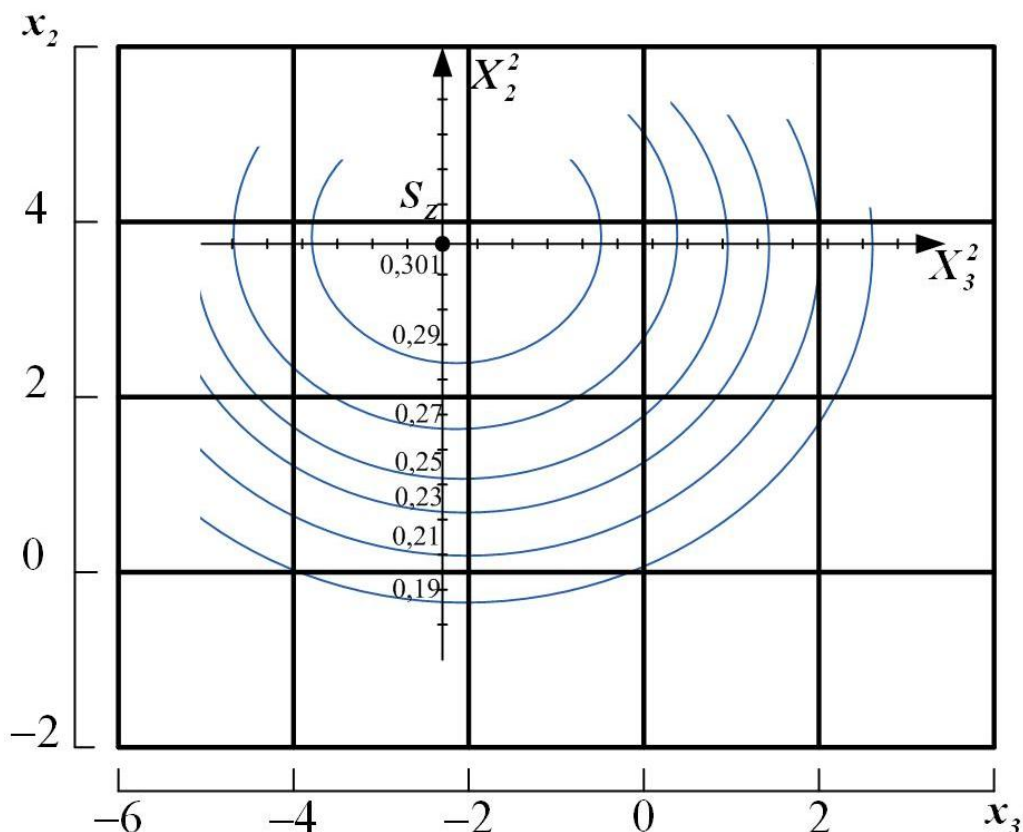


Рис. 1. Контурні криві перерізів поверхні відклику при $x_1 = 0$ ($P = 1,8 \text{ кВт}$) і значеннях $Y_s = 0,301; 0,29; 0,27; 0,25; 0,23; 0,21; 0,19$.

2. Приймаємо в (11) $x_2 = 0$, що відповідає значенню фактору $V = 0,8 \text{ м/с}$. Двомірний переріз поверхні відклику в цьому випадку

буде характеризувати параметр оптимізації в залежності від потужності (x_1) і маси (x_3) мотоблоку. Рівняння (11) прийме вигляд

$$\hat{y} = 3,1 + 1,4x_1 + 0,73x_3 + 0,26x_1^2 + 0,22x_3^2. \quad (25)$$

Визначимо координати центру поверхні і величину параметру оптимізації:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} &= 1,4 + 0,52x_1 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} &= 0,72 + 0,44x_3 = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

В результаті рішення системи отримуємо $x_{1S} = -2,692$; $x_{3S} = -1,636$ та $Y_S = 0,626$. Рішення характеристичного детермінанта (23) для цього випадку має вигляд квадратного рівняння $B^2 - 0,48B + 0,0572 = 0$, корні якого дорівнюють $B_{11} = 0,22$ і $B_{22} = 0,28$ та рівняння в канонічній формі

$$Y_S - 0,626 = 0,22X_1^2 + 0,28X_2^2. \quad (27)$$

В цьому випадку контурні криві будуть також еліпсами (рисунок 2).

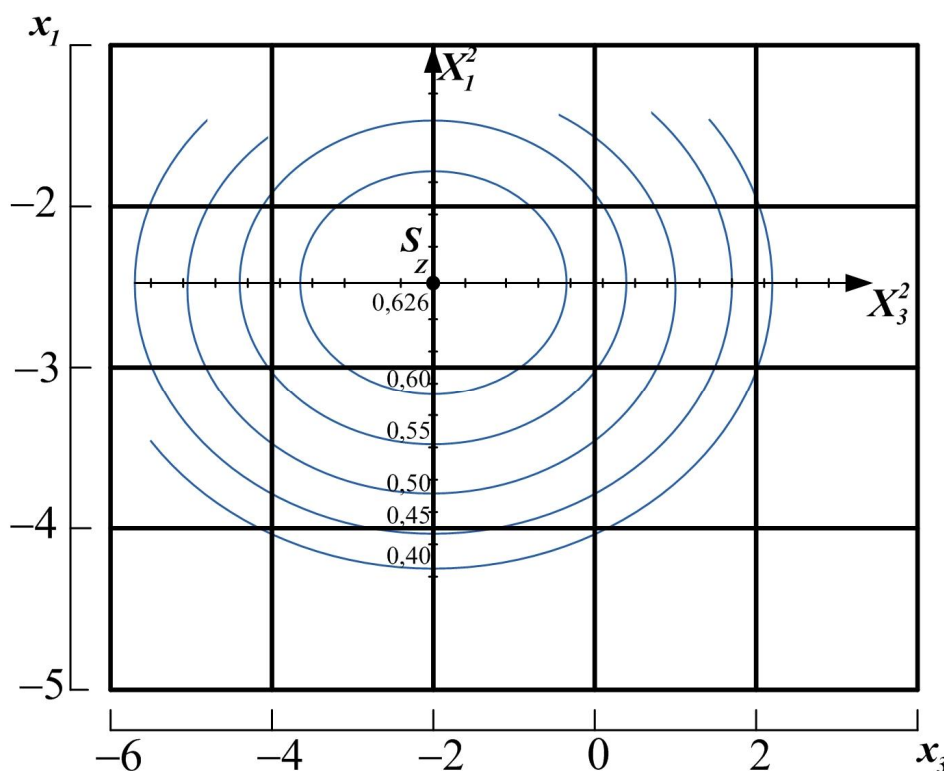


Рис. 2. Контурні криві перерізів поверхні відклику при $x_2 = 0 (V = 0,8 \text{ м/с})$ і значеннях $Y_S = 0,626$ (центр); $0,6$; $0,55$; $0,5$; $0,45$; $0,4$.

3. Приймаємо в (11) $x_3 = 0$, що відповідає значенню фактору $G = 1,2 \text{ кН}$. Двовірний переріз поверхні відклику в цьому випадку буде характеризувати параметр оптимізації в залежності від потужності (x_1) і швидкості (x_2). Рівняння (11) прийме вигляд

$$\hat{y} = 3,1 + 1,4x_1 + 0,73x_3 - 0,75x_1x_2 + 0,26x_1^2 + 0,12x_3^2. \quad (28)$$

Визначимо координати центру поверхні і величину параметру оптимізації:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} &= 1,4 - 0,75x_2 + 0,52x_1 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} &= -1,03 - 0,75x_1 + 0,24x_2 = 0. \end{aligned} \quad (29)$$

В результаті рішення системи отримуємо $x_{1S} = -0,997$; $x_{2S} = 1,175$ та $Y_S = 1,797$. Рішення характеристичного детермінанта для цього випадку має вигляд квадратного рівняння $B^2 - 0,38B + 0,1098 = 0$, корні якого дорівнюють $B_{11} = 0,572$ і $B_{22} = -0,192$ і є коефіцієнтами рівняння регресії в канонічній формі

$$Y_S - 1,797 - 0,572X_1^2 + 0,192X_2^2. \quad (30)$$

З причини того, що коефіцієнти B_{11} і B_{22} мають різні знаки, то контурні криві в цьому випадку є гіперболами (рисунок 3).

Висновки. 1. Застосування ортогонального центрального композиційного плану (ОЦКП) з реалізацією його методом планування математичного експерименту дозволило отримати рівняння регресії другого порядку, що адекватно описує область оптимуму параметру оптимізації, в якості якого прийнята сила тяги електромоблоку F . При цьому незалежними змінними є основні експлуатаційні показники мотоблоку: потужність електродвигуна P , швидкість руху V і повна маса G .

2. Методом двовірних перерізів поверхні відклику визначені координати центру поверхні S_z для кожної пари факторів і значення параметру оптимізації в центрі. Розраховані і побудовані контурні криві та визначені раціональні границі зміни експлуатаційних показників, що забезпечують величину параметру оптимізації близькою до оптимальної.

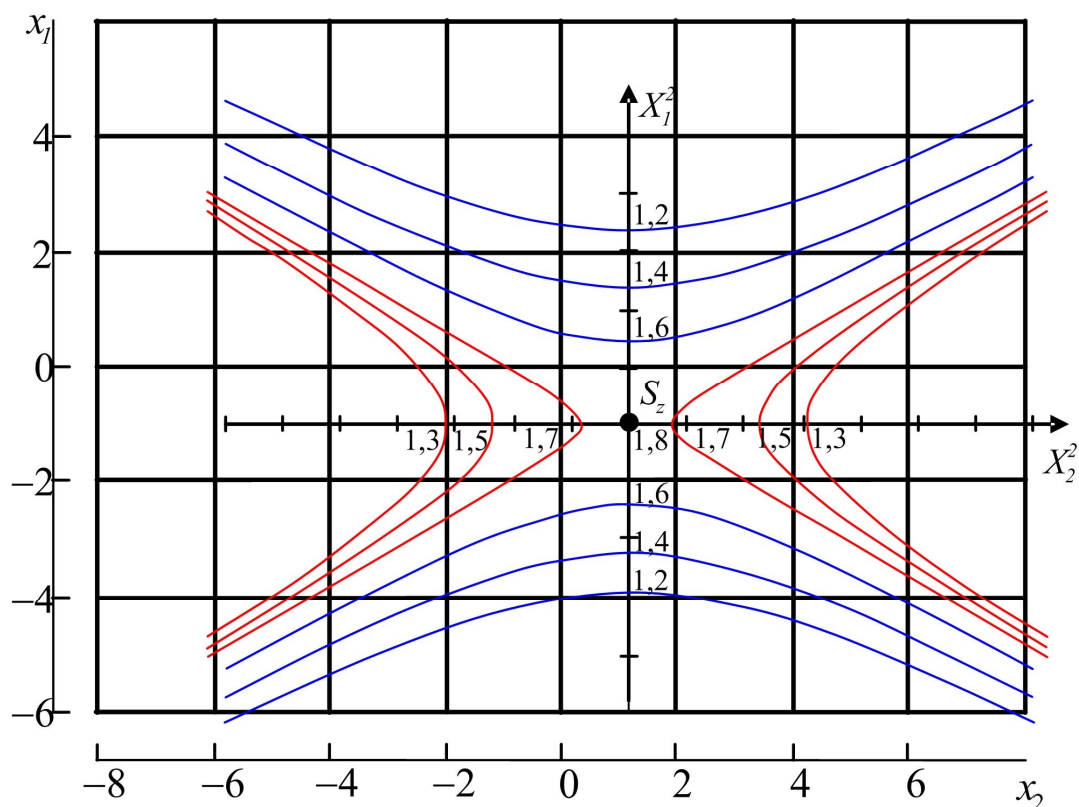


Рис. 3. Контурні криві перерізів поверхні відклику при $x_3 = 0$ ($G = 1,2 \text{ кН}$) і значеннях $Y_s = 1,797$ (сідлова точка) і по осям $x_1 = 1,6; 1,4; 1,2$ і $x_2 = 1,7; 1,5; 1,3$.

3. За результатами проведених досліджень рекомендуються наступні раціональні границі варіювання основних експлуатаційних показників, що слід враховувати на стадії проектування електромоблоків легкої та середньої серій: $P = 1,5 \dots 3,0 \text{ кВт}$; $V = 0,4 \dots 1,0 \text{ м/с}$; $G = 0,8 \dots 1,6 \text{ кН}$. Методика вибору та розрахунку експлуатаційних показників за даними технічного завдання детально розглядається в [3].

Література

1. Электрические машины в тяговом автономном электроприводе / Ю.М. Андреев, К.Г. Исаакян, А.Д. Машихин [и др.] ; под ред. А.П. Пролыгина. – М. : Энергия, 1979. – 240 с.
2. Кусов Т.Т. Создание энергетических средств с электромеханическим приводом / Т.Т. Кусов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988, №10. – С. 12-17.
3. Ковальов О.В. Розрахунок потужності та вибір тягового електродвигуна приводу мотоблока / О.В. Ковальов, Ю.М. Куценко, Г.Н. Назар'ян // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 10., Т.8. – Мелітополь:ТДАТУ, 2010. – С. 228-238.

4. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. -168 с.

5. Назарьян Г.Н. Практический курс планирования эксперимента / Г.Н. Назарьян. – Мелитополь, 1999. – 66 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМОТОБЛОКА МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Ковалев А.В., Куценко Ю.Н., Рубцов Н.А., Назарьян Г.Н.

Аннотация - в работе методом планирования эксперимента получена адекватная математическая модель области оптимума параметра оптимизации электродвигателя. На основе графоаналитического анализа поверхности отклика с помощью двумерных сечений определены оптимальные значения эксплуатационных показателей.

OPTIMIZATION OF OPERATING INDEXES THE ELECTRIFIED MOTOBLOCK METHOD OF EXPERIMENT PLANNING

O. Kovalyov, Y. Kutcenko, N. Rybtzov, G. Nazar'yan

Summary

In-process by a method planning of experiment the adequate mathematical model of area of optimum of parameter of optimization of motoblock is got. On the basis analysis of surface of response by sections the optimum values of operating indexes are certain.