

Терещенко К.А., студентка; *наук. кер. Нєжєнцев О.Б., к.т.н., доц.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: nezhentsev@meta.ua

ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕСУВАННЯ МОСТОВОГО КРАНА НА СКЛАДІ МЕТАЛУ

Основним обладнанням на складах металу є мостові магнітні крани. Забезпечення їх максимальної продуктивності при мінімумі енергоспоживання є актуальною проблемою, вирішення якої неможливо без оптимізації параметрів кранових механізмів пересування. Як правило, оптимізацію проводять по одному з критеріїв: швидкодія, динамічні навантаження, точність позиціонування і т.п. Оскільки оптимізація тільки по одному з критеріїв покращує одні показники і погіршує інші, то вибір оптимальних параметрів кранових механізмів необхідно здійснювати із застосуванням узагальненого критерію оптимізації.

Удосконалено алгоритм оптимізації параметрів кранових механізмів показаний на прикладі пошуку оптимальних значень передаточного числа приводу пересування мостового крана u_M і радіусу ходових коліс $r_{\text{хк}}$ в режимі динамічного гальмування [1]. В якості критерію оптимізації використовувалася узагальнена функція бажаності D [2], в яку були включені: максимальні значення динамічних навантажень на металоконструкцію крана P_M^{max} , час гальмування t_T , максимальна амплітуда розгойдування вантажу після зупинки крана A^{max} і втрати енергії в електроприводі ΔE . Значення параметрів оптимізації P_M^{max} , t_T , A^{max} та ΔE визначалися за результатами чисельного інтегрування системи нелінійних диференціальних рівнянь, яка описує процес динамічного гальмування мостового крана. При цьому за допомогою розробленої комп'ютерної програми [3] також розраховувалися: переміщення, швидкості і прискорення приведених мас, навантаження на металоконструкцію крана і вантаж, а також втрати енергії.

Для побудови узагальненої функції бажаності D параметри P_M^{max} , t_T , A^{max} і ΔE були перетворені в безрозмірну шкалу бажаності, що дозволяє визначати відповідні їм частинні функції бажаності d_1 , d_2 , d_3 , d_4 .

Узагальнена функція бажаності D являє собою середнє геометричне частинних функцій d_i [2]:

$$D = \sqrt[4]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot d_4}. \quad (1)$$

Перетворення функції відгуку y в приватну функцію бажаності d здійснюється за допомогою залежності:

$$d = \exp[-\exp(-y')], \quad (2)$$

$$\text{де} \quad y' = a_0 + a_1 \cdot y. \quad (3)$$

Коефіцієнти a_0 і a_1 визначаються шляхом завдання двох значень функції відгуку y , що відповідають базовим значенням d_j .

Функція бажаності приймає значення від нуля до одиниці. Значення, рівне нулю, відповідає абсолютно неприйнятному значенню параметра, а рівне одиниці - найкращому.

Залежності, що дозволяють перетворювати параметри оптимізації P_M^{max} , t_T , A^{max} , ΔE в частинні функції бажаності d_1 , d_2 , d_3 , d_4 для мостового крана вантажопідйомністю 20т:

$$d_1 = \exp[-\exp(-4,45 + 0,12P_M^{\text{max}})]; \quad (4)$$

$$d_2 = \exp[-\exp(-3,84 + 0,35t_T)]; \quad (5)$$

$$d_3 = \exp[-\exp(-3,13 + 5,2A^{\max})]; \quad (6)$$

$$d_4 = \exp[-\exp(-4,95 + 0,012\Delta E)]. \quad (7)$$

Таким чином, завдання пошуку глобального максимуму функції D полягає в пошуку значень u_m та r_{xk} , при яких значення D буде найбільшим, а відповідні йому параметри $P_M^{\max}$, t_T , $A^{\max}$ і ΔE - найбільш прийнятними.

Для реалізації алгоритму пошуку глобального максимуму функції D використані випадкові початкові умови в комбінації з локальним пошуком. Кожен локальний пошук проводиться багаторазово в околицях вузлів заданої сітки і містить кілька етапів пошуку з випадково вибраних початкових точок. Локальний максимум - результат кожного локального пошуку, запам'ятовується і порівнюється з іншими локальними максимумами. В результаті вибирається найбільший з локальних максимумів - глобальний максимум.

Області визначення варіюваних факторів u_m та r_{xk} були визначені за результатами аналізу мостових кранів вантажопідйомності 20т: $8,3 \leq u_m \leq 16,3$; $0,1m \leq r_{xk} \leq 0,5m$. Ці області розбиваються на задане число відрізків, і здійснюється перебирання всіх можливих поєднань значень факторів для визначення початкових точок пошуку локальних максимумів. З початкового масиву факторів u_m та r_{xk} зчитуються їх значення в i -й початковій точці. Задаються інтервали варіювання r_1 та r_2 кожного з факторів у локальній області, а також кількість випадкових точок n в цій області. Навколо кожної початкової точки формується новий масив значень факторів u_m та r_{xk} , кожен елемент якого дорівнює:

$$u_m^j = u_m^0 + r_1(2\xi_1 - 1), \quad r_{xk}^j = r_{xk}^0 + r_2(2\xi_2 - 1), \quad j = 1..n, \quad (8)$$

де j – номер випадкової точки в i -й локальній області, ξ – випадкова величина $\xi \in [0;1]$.

Для кожної j -ї точки перераховуються: приведена маса приводу і кінцевих балок; швидкість крана; приведена до ходових коліс сила приводу P_d . При цьому на кожному кроці інтегрування обчислюються: навантаження на металоконструкцію крана P_m і вантаж P_k , амплітуда розгойдування вантажу A , час перехідного процесу t_T , втрати енергії ΔE . Для кожного j -го процесу гальмування крана визначаються: $P_M^{\max}$, $A^{\max}$, ΔE , а також d_1 , d_2 , d_3 , d_4 та D_j .

Залежність D_j від змінних u_m та r_{xk} в i -й локальній області розкладається в ряд Тейлора до другого порядку. За допомогою методу найменших квадратів формується матриця коефіцієнтів (u_m та r_{xk}) і вектор вільних членів D_j . Отримана система лінійних рівнянь вирішується методом Гауса з визначенням коефіцієнтів регресії A_k , $k = 0..5$. Потім знаходяться і нормуються градієнти функції $f(\bar{x})$ в початковій точці по кожній змінній:

$$\begin{aligned} gr_1 &= \text{grad } f(\bar{x}) = \frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x_1} = A_1 + 2A_3x_1 + A_5x_2; \\ gr_2 &= \text{grad } f(\bar{x}) = \frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x_2} = A_2 + A_5x_1 + 2A_4x_2. \end{aligned} \quad (9)$$

Далі здійснюється перехід в початкову точку з координатами:

$$u_m^0 = u_m^0 + \lambda_1 g_1; \quad (10)$$

$$r_{xk}^0 = r_{xk}^0 + \lambda_2 g_2,$$

де $\lambda_1 = |u_m^{j\max} - u_m^{j\min}|$; $\lambda_2 = |r_{xk}^{j\max} - r_{xk}^{j\min}|$;

$u_m^{j\max}, u_m^{j\min}, r_{xk}^{j\max}, r_{xk}^{j\min}$ - значення факторів, при яких параметр D_j має максимальне та мінімальне значення.

На кожній ітерації знаходиться

$$\Delta = \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} - \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2}. \quad (11)$$

Оптимізація повторюється до тих пір, поки не буде виконана умова зупинки пошуку локального максимуму: якщо $\Delta > 0$ та $\frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} < 0$; $\frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} < 0$, то в точці з координатами $[u_m^0, r_{xk}^0]$ - максимум параметра D .

За викладеним алгоритмом за допомогою розробленої програми для мостового крана в/п 20 т був знайдений глобальний максимум ($D = 0,7184$) при оптимальних значеннях факторів: $u_m = 15,01$; $r_{xk} = 0,381$ м.

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Втрати енергії, динамічні навантаження, розкачування вантажу та час робочого циклу вантажопідіймальних кранів можна істотно знизити шляхом вибору оптимальних параметрів кранових механізмів за розробленою методикою. Оскільки функція узагальненого параметра D є багатоекстремальною, то одним з найбільш ефективних методів пошуку глобального максимуму є комбінація, що включає багаторазовий пошук локального екстремуму (наприклад, градієнтним методом при випадковому визначенні початкових точок) і виявлення найбільшого параметра D з множини локальних екстремумів.

2. Застосування динамічного гальмування крана з оптимальними значеннями передаточного числа і радіусу ходових коліс у порівнянні з гальмуванням колодковим гальмом, дозволяє знизити динамічні навантаження більш ніж на 20%, амплітуду розгойдування вантажу після зупинки крана - в 3 - 4 рази, втрати енергії - на 40 %.

Список використаних джерел

1. Неженцев А.Б. Оптимизация параметров механизма передвижения мостового крана по обобщенному критерию / А.Б. Неженцев, С.М. Аветисян // Підйомно-транспортна техніка, № 3(15). - Дніпропетровськ, 2005. - С. 3-14.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
3. Аветисян С. М. Программное обеспечение для исследования переходных процессов грузоподъемных кранов (часть 1: при работе механизмов передвижения) / С.М. Аветисян, А.Б. Неженцев. // Підйомно-транспортна техніка. - 2003. - №4. - С. 33-48.