УДК 621.81.004:621.77:621.792

Хітров І. О., к.т.н., доцент, Романюк В. І., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПОСАДОЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

Наведено математичну модель визначення міцності з'єднання „втулка-корпус" на основі планування багатофакторного експерименту.
Ключові слова: експеримент, фактор, математична модель, міцність з'єднання „втулка-корпус"

Представлена математическая модель определения прочности соединения „втулка-корпус" на основе планирования многофакторного эксперимента.
Ключевые слова: эксперимент, фактор, математическая модель, прочность соединения "втулка-корпус"

Results of industrial check and introduction of technology of restoration of case details in manufacture are resulted.
Keywords: experiment, mathematical model, the strength of connection " bush-building"

Під час проведення експериментів у різних областях науки і техніки все більш широке використання знаходять математичні методи планування експерименту, які дозволяють з мінімальними затратами, достатньою точністю і необхідною достовірністю отримувати залежності, що описують досліджувані процеси або явища. Вони базуються на математичній теорії експерименту, яка визначає умови оптимального проведення досліджень, у тому числі і при неповному знанні фізичної природи явища.

Протягом останніх десятиріч проблема відновлення, зміцнення та підвищення довговічності деталей машин знаходиться у полі зору науковців як в Україні, так і за її межами [1-6]. Виникає необхідність у розробленні та впровадженні нових, більш ефективних методів відновлення деталей машин, які б могли забезпечити не лише спрощення і здешевлення технологічного процесу, але й високу точність та якість відновлених поверхонь, дослідження яких не можливе без проведення багатофакторного експерименту при визначенні їх технологічних параметрів [7-9].

Математичні методи планування експерименту дозволяють досліджувати складні системи і процеси, забезпечуючи високу ефективність експерименту, а також точність визначення досліджуваних факторів. Тому, для отримання простих, прийнятих для інженерних розрахунків, залежностей міцнос-

ті з'єднання „втулка-корпус" (технологія відновлення спрацьованих посадочних отворів під підшипники кочення в корпусних деталях з використанням полімерних матеріалів і розмірних згортних сталевих втулок) від технологічних параметрів з'єднання (радіальний зазор, шорсткість поверхні, час роботи) було використано математичні методи планування експерименту.

Кінцевим результатом є отримання математичної моделі визначення міцності з'єднання „втулка-корпус" на основі планування багатофакторного експерименту.

У процесі відновлення посадочних поверхонь отворів корпусних деталей знімається частина зношеного металу і на її місце ставиться інший метал у вигляді втулки. З'єднання відновлюваної втулки з корпусом здійснювали за допомогою полімерного матеріалу. Представляють великі труднощі аналітичним методом описати процеси, які при цьому відбуваються, тому було використано математичні методи планування експерименту.

Математична теорія експерименту базується на твердженні, що будь-яку аналітичну функцію $y = f(x_1, x_2, \cdots, x_n)$, (де x_1, x_2, ..., x_n – незалежні змінні фактори) можна представити у вигляді поліному розкладанням її у ряд Тейлора [1]

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \ldots + b_n \cdot x_n + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 +$$
$$+ \ldots + b_{(n-1)n} \cdot x_{n-1} \cdot x_n + b_{11} \cdot x_1^2 + \ldots + b_{nn} \cdot x_n^2.$$

Математичну модель визначення довговічності з'єднання „втулка-корпус" від параметрів відновлення запишемо у вигляді

$$\tau_{сер} = f(x_1, x_2, x_3)$$

Змінними факторами експерименту були наступні параметри: x_1 – радіальний зазор, x_2 – шорсткість поверхні отвору, x_3 – час роботи установки.

Для визначення умов проведення експерименту виникає необхідність тимчасово відійти від фізичного змісту досліджуваних факторів і перейти до безрозмірних величин, оперувати якими значно простіше. Для досягнення цього застосували лінійне перетворення координат факторного простору, тобто перенос початку координат в одиницях інтервалів варіювання. У кодованому вигляді верхній рівень позначили – +1, нижній рівень – -1, а основний рівень – 0 (таблиця).

Кодоване значення фактора x_i визначили за залежністю

$$x_1 = \frac{s - s_0}{\Delta s}; \quad x_2 = \frac{R_z - R_{z0}}{\Delta R_z}; \quad x_3 = \frac{N - N_0}{\Delta N},$$

де s_0, R_{z0}, N_0 – натуральні значення факторів на основних рівнях;

Δs, ΔR_z, ΔN – значення інтервалів варіювання.

Таким чином,

$$x_1 = \frac{s - 0{,}10}{0{,}05}; \quad x_2 = \frac{R_z - 40}{10}; \quad x_3 = \frac{N - 300}{150}.$$

Таблиця

Рівні та інтервали варіювання

Фактори	Кодоване позначення	Інтервал	Натуральні рівні факторів, які відповідали кодованим				
			+1,682	+1	0	-1	-1,682
S – радіальний зазор, мм	x_1	0,05	0,18	0,15	0,10	0,05	0,035
R_z – шорсткість поверхні, мкм	x_2	10	56	50	40	30	24
N – час роботи установки, год.	x_3	100	458	450	300	150	52

На першому етапі дослідження був поставлений повний факторний експеримент типу 2^3. Рівні факторів та інтервали варіювання вибрані за результатами попередніх дослідів. План типу 2^3 дозволив отримати роздільні оцінки для коефіцієнтів рівняння регресії виду [1]:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (1)$$

Коефіцієнти рівняння регресії (1) визначали за формулами [1]:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^{N=8} y_j}{N}; \quad b_i = \frac{\sum_{j=1}^{N=8} x_{ij} \cdot y_j}{N}; \quad b_{il} = \frac{\sum_{j=1}^{N=8} x_{ij} \cdot x_{li} \cdot y_j}{N},$$

де i, l – номер факторів;

j – номер рядка або досліду в матриці планування;

x_{ij}, x_{lj} – елементи відповідного стовпця матриці або кодовані значення (± 1) факторів i та j у j-му досліді;

y_j – значення параметру оптимізації у j-му досліді.

Після визначення і підстановки значень коефіцієнтів, рівняння (1) прийняло вигляд:

$$y = 4{,}6875 + 1{,}0125 \cdot x_1 + 0{,}2375 \cdot x_2 - 1{,}2875 \cdot x_3 + 0{,}0125 \cdot x_1 \cdot x_2 - \\ - 0{,}0125 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0{,}0375 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0{,}0125 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (2)$$

Для перевірки адекватності отриманого рівняння та визначення дисперсії коефіцієнтів необхідно знати дисперсію s_y^2 експерименту. Знаходили її за результатами шести дослідів, поставлених у центрі.

Різниця між значеннями параметру оптимізації $\overline{y}$ у центрі плану і величиною вільного члену b_0 [1]:

$$\left|\overline{y} - b_0\right| = \left|9{,}5 - 6{,}98125\right| = 2{,}51875.$$

Отримана різниця перевищує помилку s_y експерименту [1]:

$$s_y = +\sqrt{s_y^2} = \sqrt{0{,}00932} = 0{,}09654 .$$

З цього слідує, що коефіцієнти при квадратичних членах відрізняються від нуля, а дана залежність не може бути достатньо точно апроксимована рівнянням (2). Тому перейшли до планування другого порядку та апроксимували невідому функцію відгуку поліномом виду [1]:

$$\begin{aligned} y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \\ + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 . \end{aligned} \quad (3)$$

Експеримент був поставлений за програмою центрального планування другого порядку. Реалізовано вісім дослідів повного факторного експерименту 2^3 та шість дослідів у центрі плану доповнили шістьма дослідами в “зіркових” точках. Величина “зіркового” плеча α рівна 1,682 [1].

Коефіцієнти рівняння (3) знаходили за формулами [1]:

$$b_0 = \frac{A}{N} \cdot \left[2 \cdot \lambda^2 \cdot (k+2) \cdot \sum_{j=1}^{N=20} y_i - 2 \cdot \lambda \cdot c \cdot \sum_{i=1}^{k=3} \sum_{j=1}^{N=20} x_{ij}^2 \cdot y_i \right];$$

$$b_i = \frac{c}{N} \cdot \sum_{j=1}^{N=20} x_{ij} \cdot y_i ; \qquad b_{il} = \frac{c^2}{N \cdot \lambda} \cdot \sum_{j=1}^{N=20} x_{ij} \cdot x_{lj} \cdot y_i ;$$

$$\begin{aligned} b_{ii} = \frac{A}{N} \cdot \Bigg\{ c^2 \cdot \left[(k+2) \cdot \lambda - k \right] \cdot \sum_{j=1}^{N=20} x_{ij}^2 \cdot y_i + \\ + c^2 \cdot (1-\lambda) \cdot \sum_{i=1}^{k=3} \sum_{j=1}^{N=20} x_{ij}^2 \cdot y_i - 2 \cdot \lambda \cdot c \cdot \sum_{j=1}^{N=20} y_i \Bigg\} \end{aligned}$$

де A, c, λ – константи.

$$\lambda = \frac{k \cdot (n_c + n_0)}{(k+2) \cdot n_c} = 0{,}857143,$$

де n_0 – число дослідів у центрі плану (число нульових точок), $n_0 = 6$.

$$n_c = N - n_0,$$

де N – загальне число дослідів, $N = 20$;

k – число факторів, $k = 3$.

$$A = \frac{1}{2 \cdot \lambda \cdot \left[(k+2) \cdot \lambda - k \right]} = 0{,}453704 ; \qquad c = \frac{N}{\sum_{j=1}^{N=20} x_{ij}^2} = 1{,}464317 .$$

Після визначення і підстановки значень коефіцієнтів, рівняння (3) прийн-

яло вигляд:

$$y = 7{,}007 + 0{,}987 \cdot x_1 + 0{,}238 \cdot x_2 - 1{,}321 \cdot x_3 + 0{,}013 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0{,}013 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ - 0{,}038 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0{,}0123 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1{,}471 \cdot x_1^2 - 0{,}762 \cdot x_2^2 - 0{,}055 \cdot x_3^2. \quad (4)$$

Дисперсії, які характеризували помилки у визначенні коефіцієнтів рівняння регресії, вираховували за формулами [1]:

$$s^2\{b_0\} = \frac{2 \cdot A \cdot \lambda^2 \cdot (k+2)}{N} \cdot s_y^2; \quad s^2\{b_{il}\} = \frac{c^2}{\lambda \cdot N} \cdot s_y^2;$$

$$s^2\{b_{ii}\} = \frac{A \cdot c^2 \cdot [(k+1) \cdot \lambda - (k-1)]}{N} \cdot s_y^2.$$

Дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії рівні:

$$s^2\{b_0\} = 0{,}001553; \; s^2\{b_i\} = 0{,}000682;$$
$$s^2\{b_{il}\} = 0{,}001166; \; s^2\{b_{ii}\} = 0{,}000648.$$

Довірчі інтервали для коефіцієнтів рівні [161]:

$$\Delta s\{b_0\} = \pm t \cdot s\{b_0\} = \pm 0{,}10129; \quad \Delta s\{b_i\} = \pm t \cdot s\{b_i\} = \pm 0{,}067134;$$

$$\Delta s\{b_{il}\} = \pm t \cdot s\{b_{il}\} = \pm 0{,}087747; \; \Delta s\{b_{ii}\} = \pm t \cdot s\{b_{il}\} = \pm 0{,}065403.$$

де t – табличне значення критерію Стюдента при 5 %-му рівні значимості та числі ступенів вільності $f = 5$.

У зв'язку з тим, що коефіцієнти b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}, b_{33} за абсолютною величиною менші відповідних довірчих інтервалів, то їх визнали статично незначущими і виключили з рівняння регресії. Після виключення незначних коефіцієнтів з рівняння (4), отримали:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2. \quad (5)$$

Оскільки, незначним виявився і коефіцієнти b_{33} при квадратичному тричлені, значимі коефіцієнти були перераховані з використанням методу найменших квадратів [1]. Для цього за виразом (5) склали систему нормальних рівнянь [1]:

$$b_0 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j} + b_1 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j}^2 + b_2 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j} \cdot x_{1j} + b_3 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{3j} \cdot x_{1j} + \\ + b_{11} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j}^3 + b_{22} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j}^2 \cdot x_{1j} = \sum_{j=1}^{20} y_j \cdot x_{1j};$$

$$b_0 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j} + b_1 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j} \cdot x_{2j} + b_2 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j}^2 + b_3 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{3j} \cdot x_{2j} + \\ + b_{11} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j}^2 \cdot x_{2j} + b_{22} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j}^3 = \sum_{j=1}^{20} y_j \cdot x_{2j};$$

$$b_0 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{3j} + b_1 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j} \cdot x_{3j} + b_2 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j} \cdot x_{3j} + b_3 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{3j}^2 +$$

$$+b_{11} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j}^2 \cdot x_{3j} + b_{22} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j}^2 \cdot x_{3j} = \sum_{j=1}^{20} y_j \cdot x_{3j};$$

$$b_0 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j}^2 + b_1 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j}^3 + b_2 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j} \cdot x_{1j}^2 + b_3 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{3j} \cdot x_{1j}^2 +$$

$$+b_{11} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j}^4 + b_{22} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j}^2 \cdot x_{1j}^2 = \sum_{j=1}^{20} y_j \cdot x_{1j}^2;$$

$$b_0 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j}^2 + b_1 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j} \cdot x_{2j}^2 + b_2 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j}^3 + b_3 \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{3j} \cdot x_{2j}^2 +$$

$$+b_{11} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{1j}^2 \cdot x_{2j}^2 + b_{22} \cdot \sum_{j=1}^{20} x_{2j}^4 = \sum_{j=1}^{20} y_j \cdot x_{2j}^2.$$

Після підстановки значень сум система нормальних рівнянь прийняла вигляд:

$$20 \cdot b_0 + 0 \cdot b_1 + 0 \cdot b_2 + 0 \cdot b_3 + 13,65825 \cdot b_{11} + 13,65825 \cdot b_{22} = 108,9;$$

$$0 \cdot b_0 + 13,65825 \cdot b_1 + 0 \cdot b_2 + 0 \cdot b_3 + 0 \cdot b_{11} + 0 \cdot b_{22} = 13,4824;$$

$$0 \cdot b_0 + 0 \cdot b_1 + 13,65825 \cdot b_2 + 0 \cdot b_3 + 0 \cdot b_{11} + 0 \cdot b_{22} = 3,2456;$$

$$0 \cdot b_0 + 0 \cdot b_1 + 0 \cdot b_2 + 13,65825 \cdot b_3 + 0 \cdot b_{11} + 0 \cdot b_{22} = -18,0372;$$

$$13,65825 \cdot b_0 + 0 \cdot b_1 + 0 \cdot b_2 + 0 \cdot b_3 + 24,00789 \cdot b_{11} + 8 \cdot b_{22} = 53,90892;$$

$$13,65825 \cdot b_0 + 0 \cdot b_1 + 0 \cdot b_2 + 0 \cdot b_3 + 8 \cdot b_{11} + 24,00789 \cdot b_{22} = 65,22542.$$

Розв'язавши систему нормальних рівнянь, отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 6,959025 + 0,98713 \cdot x_1 + 0,23763 \cdot x_2 - 1,32061 \cdot x_3 - \\ -1,46197 \cdot x_1^2 - 0,75504 \cdot x_2^2. \quad (6)$$

Адекватність отриманої моделі перевіряли за допомогою *F*-критерію:

$$F_p = \frac{s_{ад}^2}{s_y^2} = 1,70198$$

де $s_{ад}^2$ – дисперсія адекватності;

s_y^2 – дисперсія параметра оптимізації.

Дисперсію адекватності визначаємо з виразу [1]:

$$s_{ад}^2 = \frac{s_R - s_E}{f},$$

де f – число ступенів вільності:

$$f = N - k' - (n_0 - 1),$$

де k' – число статистично значимих коефіцієнтів моделі, $k' = 6$;

N – загальне число дослідів, $N = 20$;

n_0 – число дослідів у центрі плану, $n_0 = 6$.

Для визначення $s_{ад}^2$ вирахували суму s_R квадратів відхилень розрахункових значень функції відгуку від експериментальних y_j у всіх точках плану (s_R = 0,18936). Суму s_E, використали для визначення дисперсії $s^2\{y\}$, за результатами дослідів у центрі плану і рівна 0,0466.

Табличне значення F_T – критерію при 5%-му рівні значимості та числі ступенів вільності для чисельника 9 і для знаменника 5 рівне 3,5. Оскільки, значення $F_P < F_T$, тому отриману модель можна рахувати адекватною.

Рівняння (6) незручне для інтерпретації отриманих результатів і практичних розрахунків, тому його перетворили за формулами переходу від кодованих значень (x_1, x_2, x_3) до натуральних значень факторів (s, R_z, N).

Рівняння (6) можна представити наступним виразом:

$$\tau_{сер} = 0,627795 \cdot R_z - 0,00755 \cdot R_z^2 - 0,008804 \cdot N -$$
$$-584,788 \cdot s^2 + 136,7001 \cdot s - 11,253.$$

Дане рівняння адекватне, тому його можна використовувати як інтерполяційну формулу для визначення величини $\tau_{сер}$.

Отримавши математичну модель, проводили оптимізацію вхідних параметрів побудовою контурних кривих, які утворилися в результаті перерізу поверхні відклику y_j площинами, паралельними площині системи координат x_1-x_2. Побудову контурних ліній проводили для випадку x_3 = 1, тобто максимального числа годин роботи з'єднання. За оптимальні параметри з'єднання приймали ті, при яких значення міцності при динамічному навантаженні максимальні.

Підставивши в рівняння (6) значення x_3 = 1, отримали для y_j наступний вираз

$$y = 5,63842 + 0,98713 \cdot x_1 + 0,23763 \cdot x_2 -$$
$$-1,46197 \cdot x_1^2 - 0,75504 \cdot x_2^2. \quad (7)$$

Диференціюючи рівняння (7) за x_1 і x_2 і прирівнюючи часткові похідні до нуля, отримали рівняння, розв'язавши яке, знайшли координати x_{1S} і x_{2S} центру фігури, яка утворена поверхнею відклику:

$$x_{1S} = 0,3376; \quad x_{2S} = 0,15736.$$

Підставивши в рівняння (7) замість x_1 і x_2 координати x_{1S} і x_{2S} центру, отримали значення параметру оптимізації Y_{SZ} у центрі фігури $Y_{SZ} = 5,824$.

Перенесемо початок системи координат x_1-x_2 у центр s_z фігури. При пара-

лельному переносі системи координат у центр фігури у вихідному рівнянні зникають члени, що містять лінійні ефекти, і змінюється вільний член. У новій системі координат вільний член рівняння рівний значенню параметру оптимізації Y_{SZ} у центрі фігури. Вихідне для нашого випадку рівняння (7) у новій системі координат прийняло вигляд:

$$Y_Z - 5,824 = -1,46197 \cdot x_1^2 - 0,75504 \cdot x_2^2. \quad (8)$$

Задавшись значенням міцності Y_Z і підставивши його в рівняння (8), у результаті чого отримали рівняння контурної кривої. За цим рівнянням побудували контурну криву. Задавшись наступним значенням міцності, отримали рівняння наступної контурної кривої. Наприклад, задавшись значенням міцності 5 МПа та підставивши Y_Z = 5 МПа у рівняння (8), отримали:

$$\frac{x_1^2}{0,56362} + \frac{x_2^2}{1,09133} = 1. \quad (9)$$

Рівняння (9) – рівняння еліпса в канонічному виді. Значення півосей еліпса a = 0,75 і b = 1,04 виражені в кодованих величинах факторів x_1 і x_2. За рівнянням побудована контурна крива 1. Послідовно задавшись значенням міцності 4,5; 4,0; 3,5; 3,0; 2,5; 2,0 МПа аналогічно отримали рівняння, за яким побудовані контурні криві (рис. 1, рис. 2).

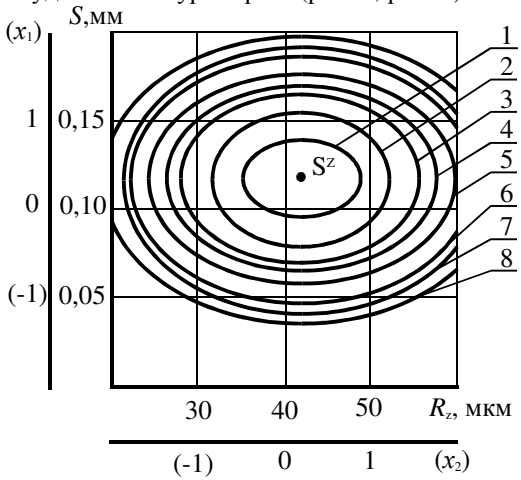

Рис. 1. Перерізи поверхні відклику обробки математичної моделі при x_1 = 1 (N = 450 год.): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – міцність відповідно при 5,5; 5; 4,5; 4; 3,5; 3; 2,5; 2 МПа

На основі математичної моделі для визначення довговічності з'єднання „втулка-корпус" встановлено параметри процесу відновлення, які дозволяють отримали найбільшу міцність, що відповідає зазору – 0,12 мм та шорсткості поверхні – R_z = 40 мкм. Отримані результати є основою для подальших експлуатаційних досліджень відновлених корпусних деталей машин.

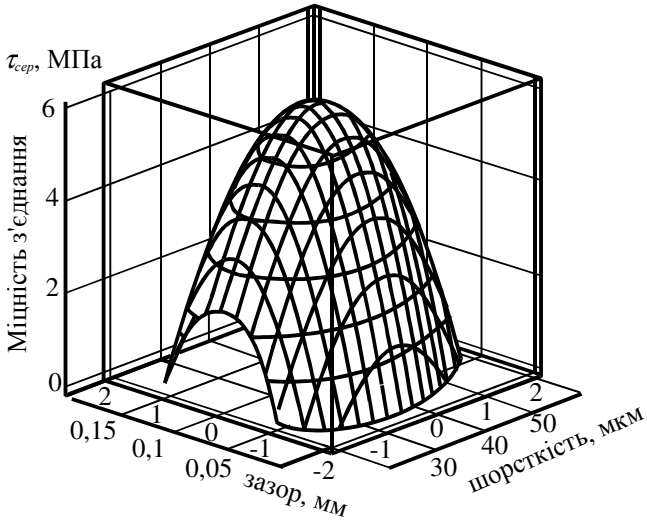

Рис. 2. Просторове зображення поверхні відклику обробки математичної моделі при $x_1 = 1$ ($N = 450$ год.)

1. Черноиванов В. И. Организация и технология восстановления деталей машин. – М. : ГОСНИТИ, 2003. – 488 с**. 2.** Молодык Н. В., Зенкин А. С. Восстановление деталей машин: Справочник. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с**. 3.** Зорин В. А. Восстановление деталей строительно-дорожных машин с использованием синтетических материалов // Строительные и дорожные машины. 2001. – № 2. – С. 36-39. **4.** Курчаткин В. В. Восстановление посадочных мест подшипников полимерными материалами. – М. : Высш. школа, 1983. – 80 с. **5.** Zscherper J., Puttscher R. Wiederholbare Instandsetzung nabenartiger Maschinenteile durch klebgepreßte Verschleißuchsen // Agrartechnik, Berlin. – 1989. – № 12. – S. 559-560. **6.** Rost B., Zscherper J. Herstellung haltbarer Welle-Nabe-Verbindungen bei der Einzelteilinstandsetzung mit Hilfe neuartiger Preß- und Klebverbindungen // Agrartechnik, Berlin. – 1985. – № 11. – S. 491-493. **7.** Хітров І. О., Романюк В. І., Гавриш В. С. Інженерна методика проектування технологічного процесу відновлення посадочних отворів корпусних деталей // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: Зб. наук. пр. – Вип. 2(34). Ч. 1. – Рівне: Вид. відділ НУВГП. – 2006. – С. 261-268. **8.** Тхорук Є. І., Хітров І. О. Технологія відновлення посадочних місць під підшипники корпусних деталей анаеробними матеріалами // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування: Зб. наук. пр. – Вип. 4. – Рівне: Вид. відділ УДУВГП. – 2002. – С. 348-355.

Рецензент: к.т.н., доцент Гавриш В. С. (НУВГП)