

1. Стрельбицкий В. В. Экспериментальное исследование износа резиновых элементов гидравлических опор вибрационного оборудования / В. В. Стрельбицкий, О. П. Бабак // Вісник хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 4. – С. 50–53.
2. Пат. 60534 МКИ F16F19/08. Гідравлічний пружний елемент / Стрельбицкий В.В., Кіницький Я.Т., Нестер А.А. (Україна). – Заявл. 21.11.2002; опублік. 15.10.2003, Бюл. № 10.
3. Истирание резин / [Бродский Г.И., Евстратов В.Ф., Сахновский Н.Л., Слюдиков Л.Д.]. – М.: Химия, 1975. – 240 с.
4. Крыжановский В. К. Технические свойства полимеров / Крыжановский В.К., Буров В.В., Панаматченко А.Д. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.
5. Ефремов Л.В. Практик инженерного анализа надежности судовой техники / Ефремов Л.В. – Л.: Судостроение, 1980. – 176 с.

Надійшла 12.3.2011 р.

УДК 674.048

Н.П. БАДЬОРА, І.В. КОЦ, В.В. ПЕТРУСЬ

Вінницький національний технічний університет

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПРОСОЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ

Запропоновано методику, що дозволяє проводити математичне планування експерименту параметрів роботи устаткування для імпульсного барометричного просочення деревини, що базується на використанні гідроімпульсного приводу.

Methodology is offered, that allows to conduct the mathematical planning of experiment of parameters of work of equipment for an impulsive under pressure and temperature thermal cyaniding, which is based on the use of hydro-impulsive drive.

Ключові слова: просочувальний агрегат, параметри роботи.

Вступ

Деревина є одним з найпоширеніших будівельних матеріалів, який широко застосовується як декоративний матеріал при будівництві та оздобленні будівель та споруд. Одним з недоліків деревини є її здатність до горіння та гниття, що значно впливає на її конкурентоспроможність у порівнянні з іншими будівельними матеріалами.

Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є просочення деревини розчинами антипіренів з використанням спеціального устаткування для імпульсного баротермічного просочення деревини, що базується на застосуванні гідравлічного приводу. Важливою складовою при використанні такого устаткування є визначення його основних параметрів роботи, які безпосередньо впливають на технологічні процеси при просоченні деревини.

Одним з найефективніших методів перевірки адекватності створеної моделі є математичне планування експерименту, яке дозволяє визначити дійсні параметри роботи даного устаткування.

Постановка задачі

Задачею роботи є розробка методики планування багатофакторного експерименту для просочувального агрегату з гідроімпульсним приводом і визначення основних факторів роботи устаткування, таких як тиск, температура та час; побудова регресійної моделі досліджуваної системи та поверхні відгуку площин з використанням прикладних програм.

Основна частина

При визначенні діапазонів варіювання факторів використовуємо умову, за якої будь-який вибір факторів, в передбачених планом експерименту діапазонах, був реалізований. Для цього були проведені пошукові експерименти з метою визначення областей, в яких такий вибір рівнів факторів був чітко реалізований. В результаті проведених пошукових експериментів для кожного фактора встановлені такі значення: X_{j0} – основний рівень фактора; X_{jmax} , X_{jmin} – верхній та нижній рівні фактора; αX_{jmax} , αX_{jmin} – зіркові верхній та нижній рівні фактора; α – зіркові плечі; I_j – інтервал варіювання.

Всі відзначені фактори, розмірні величини мають різні розмірності, а значення величин факторів мають різні порядки. Тому виконувалось кодування факторів, що представляє собою лінійне перетворення факторного простору за формулою [3]:

$$x_j = \frac{(\tilde{X}_j - \tilde{X}_{j0})}{I_j} \quad (1)$$

Встановлені наступні значення рівнів факторів в умовному масштабі: верхній +1; середній 0; нижній -1; зірковий верхній +1,682; зірковий нижній -1,682.

Основні рівні, інтервали варіювання та межі області експериментальних досліджень наведені в табл. 1.

Матриця планування і результати експерименту наведені в таблиці 2.

Кількість дослідів для повнофакторного експерименту при квадратичній регресії визначалась за формулою [3]:

$$N = 2^k, \quad (2)$$

де k – кількість факторів;

2 – кількість рівнів.

Для нашого випадку $N=2^3=8$ дослідів.

Таблиця 1

Дійсні значення факторів та рівні їх варіювання

Фактори				Рівні факторів					
№	Назва	Позначення	Од. вимір.	-1,682	1	0	1	1,682	Інтервал варіювання
x_1	тиск	X_1	МПа	0,6	0,722	0,9	1,078	1,2	0,178
x_2	температура	X_2	$^{\circ}C$	40	48,11	60	71,89	80	11,89
x_3	час	X_3	год	0,5	0,8	1,25	1,7	2	0,45

Для побудови регресійної моделі досліджуваної системи використовуємо квадратичне рівняння регресії з ефектами взаємодії 1-го порядку, що має вигляд [3]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (3)$$

де y – функція відгуку;

$b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$ – коефіцієнти регресії.

Для визначення коефіцієнтів регресії $b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$ використовувався метод найменших квадратів, що обчислюється за формулою [67]:

$$B = Y\Phi^{-1}, \quad (4)$$

де $B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix}$ – матриця, що містить коефіцієнти регресії;

$\Phi = F^T F$ – інформаційна матриця Фішера;

$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix}$ – матриця, що містить результати експериментів за матрицею планування;

$F = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,k} \\ 1 & x_{2,1} & \dots & x_{2,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{N,1} & \dots & x_{N,k} \end{bmatrix}$ – матриця, що містить значення факторів $x_{i,j}$ (де i – номер дослідів за

матрицею планування, j – номер фактора);

N – кількість дослідів за матрицею планування.

Адекватність регресійної моделі перевірялася за критерієм Фішера [3]:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{відм}^2} \leq [F(f_1, f_2)], \quad (5)$$

де S_{ad} – дисперсія адекватності;

$S_{відм}$ – дисперсія відтворюваності;

$[F(f_1, f_2)]$ – критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера;

$f_1 = N - d$ – кількість ступенів вільності дисперсії адекватності;

$f_2 = n - 1$ – кількість ступенів вільності дисперсії відтворюваності;

d – кількість значимих коефіцієнтів регресії;

n – кількість попередніх повторних дослідів, які проведено для середнього (нульового) рівня факторів.

Таблиця 2

Матриця планування і результати експерименту

№ дос- лід	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	5,1
2	1	1	1	1	1	1	1	5,3
3	1	1	-1	1	1	1	1	5,3
4	1	-1	-1	1	1	1	1	5,0
5	1	1	1	-1	1	1	1	5,0
6	1	-1	1	-1	1	1	1	5,2
7	1	1	-1	-1	1	1	1	5,0
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	5,1
9	1	-1,682	0	0	2,83	0	0	5,0
10	1	1,682	0	0	2,83	0	0	5,0
11	1	0	-1,682	0	0	2,83	0	5,0
12	1	0	1,682	0	0	2,83	0	5,0
13	1	0	0	-1,682	0	0	2,83	5,5
14	1	0	0	1,682	0	0	2,83	5,1
15	1	0	0	0	0	0	0	5,7
16	1	0	0	0	0	0	0	5,4
17	1	0	0	0	0	0	0	5,4
18	1	0	0	0	0	0	0	5,8
19	1	0	0	0	0	0	0	5,3
20	1	0	0	0	0	0	0	5,5
bi	5,259922	0,00732	-0,00732	-0,01498	-0,09324	-0,09324	-0,11092	
bei	10,87704	5,338235	0,078529	1,336138	-2,94284	-0,00066	-0,54777	
t	94,26831	0,197737	-0,19774	-0,40457	-2,58678	-2,58678	-3,07733	[t]=2,571

Розрахункове значення критерію F порівнювалося з критичним і при $F \leq [F(f_1, f_2)]$ регресійну модель вважаємо адекватною.

Дисперсії відтворюваності визначалася за формулою [3]:

$$S_{відм}^2 = \frac{1}{f_2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (6)$$

де y_i – результат і-го повторного дослідів;

\bar{y} – середнє арифметичне значення результатів n повторних дослідів.

Кількість повторних дослідів знаходилася за формулою [1]:

$$n \geq \frac{1 + P_{дов} + 2n_{відк}}{1 - P_{дов}}, \quad (7)$$

де $P_{дов}$ – довірча ймовірність того, що похибка вимірювання знаходиться в допустимих межах;

$n_{відк}$ – число вимірювань, що відкидається.

Довірча ймовірність при нормуванні квантильної оцінки результуючої та випадкової похибок вимірювальної техніки обирається в межах (0,8...0,9), тоді при $n_{відк}=0$ [2].

$$n \geq \frac{1 + (0,8...0,9)}{1 - (0,8...0,9)} = 9...19.$$

Дисперсія адекватності визначалася за формулою [3]:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (8)$$

де y_i – результат і-го дослідів, проведеного за матрицею планування;

\tilde{y}_i – результат і-го значення дослідів, передбаченого за допомогою регресійної моделі.

Перевірка закону розподілу експериментальних значень в кожній серії повторних дослідів проводилася шляхом порівняння відношень дисперсій кожного планового дослідів до сумарної дисперсії

експерименту з табличним значенням Кохрена [3], при перевищенні значення якого експерименти, що відповідають неоднорідним дисперсіям, повторювались заново, а в іншому випадку гіпотеза про однорідність дисперсій приймалася.

Значимість коефіцієнтів регресії проводилася за t-критерієм Стьюдента [3]:

$$t_i = \frac{b_i}{S_{\text{відм}} \sqrt{c_{i,i}}} > [t(f_2)], \quad (9)$$

де $[t(f_2)]$ – критичне значення t-критерію Стьюдента, яке рівне значенню розподілу Стьюдента; $c_{i,i}$ – відповідний елемент матриці Φ^{-1} .

Для функції відгуку у рівняння регресії згідно з проведеним багатофакторним експериментом для дійсних значень після відкидання ефектів взаємодії малої значимості має вигляд:

$$y = 5,33824x_1 + 0,0785x_2 + 1,3361x_3 - 2,9428x_1^2 - 0,00066x_2^2 - 0,54777x_3^2. \quad (10)$$

За даними таблиці 2 квадрат дисперсії адекватності рівний 0,0216.

При цьому $S_{\text{відм}}^2 = 0,0187$; $S_{\text{ад}}^2 = 0,02159$; $F = 1,153 < [F] = 2,721$, отже регресійна модель (10) адекватна. Коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,6095$. Перевірка адекватності регресійної моделі проводилася за критерієм Фішера, який за результатами проведених дослідів складає 1,153, що не перевищує табличного значення 1,738. Отже, рівняння регресії (10) є адекватним.

За допомогою пакету прикладних програм MathCAD побудовано поверхні відгуку в площині (рис. 1) дійсних значень параметрів.

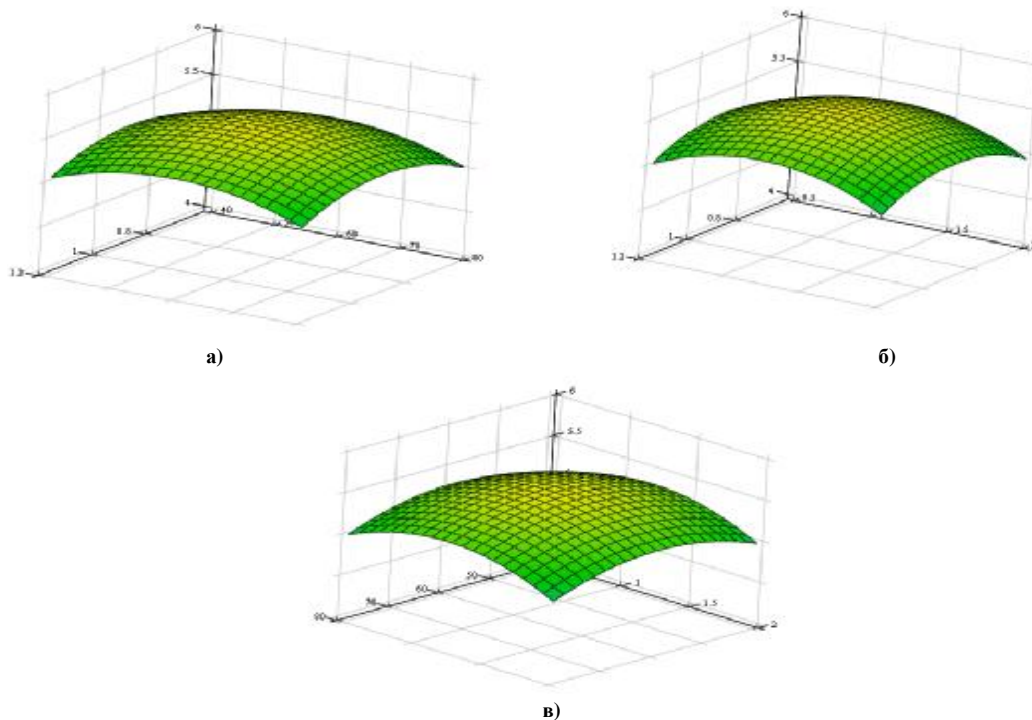


Рис. 1. Поверхні відгуку різниці верхнього та нижнього тисків в площині дійсних значень параметрів: а) x_1 - x_2 ; б) x_1 - x_3 ; в) x_2 - x_3

Висновок

Виконане математичне планування експерименту для таких основних факторів: температура, тиск та час; побудована матриця планування експерименту. На основі експериментальних результатів побудовано регресійну модель досліджуваної системи. Зображені поверхні відгуку площин на основі дійсних значень параметрів.

Література

1. Коц І. В. Гідроімпульсні ін'єктори для нагнітання будівельних сумішей при реконструкції будівель та споруд / І.В. Коц, В.В. Петрусь // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 8. – С. 473 – 480.
2. Объемные гидравлические приводы / [Т. М. Башта, И. З. Зайченко, В. В. Ермаков, Е. М. Хаймович]. – М.: Машиностроение, 1969. – 628 с.
3. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

Надійшла 16.3.2011 р.