

УДК 677.055

В.В. ЧАБАН, Є.О. КОРОБЧЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

-2

Ефективність роботи круглов'язальних машин залежить від динамічних навантажень їх механізмів, зокрема товароприйомного механізму. На основі аналізу особливостей круглов'язальних машин встановлена доцільність використання методів математичного планування та проведення експериментальних досліджень впливу параметрів машини на динамічні навантаження, що виникають в товароприйомному механізмі під час пуску. Виявлено основні параметри круглов'язальної машини, що суттєво впливають на величину динамічних навантажень товароприйомного механізму. В результаті виконаних досліджень одержані рівняння регресії, що дозволяють оперативно знаходити величину динамічних навантажень товароприйомного механізму залежно від основних параметрів круглов'язальної машини. Результати досліджень можуть бути використані для розрахунку динамічних навантажень товароприйомного механізму та оцінки впливу параметрів круглов'язальної машини на їх величину.

Ключові слова: круглов'язальна машина, товароприйомний механізм, динамічні навантаження товароприйомного механізму, математичний експеримент, рівняння регресії.

V.V. CHABAN, E.A. KOROBCHENKO
Kyiv National University of Technologies and Design**MATHEMATICAL EXPERIMENT TO EVALUATE THE EFFECT OF THE PARAMETERS KO-2 CIRCULAR KNITTING MACHINES ON THE DYNAMIC LOADS AT START-UP MECHANISM OF ACCEPTANCE OF GOODS**

The efficiency of the circular knitting machine depends on the dynamic loads of the mechanisms, in particular acceptance of goods mechanism. Based on the characteristics of circular knitting machines analyze the expediency of the use of mathematical methods of planning and conducting experimental studies of the influence of the machine parameters on the dynamic loads arising acceptance of goods mechanism at start-up. The basic parameters of the circular machine that significantly affect the value of dynamic loads acceptance of goods mechanism. As a result of the research we obtained regression equations to quickly find the value of dynamic loads acceptance of goods mechanism depending on the basic parameters of the circular machine. The research results can be used to calculate the dynamic loads acceptance of goods mechanism and assess the impact of the circular machine settings to their size.

Keywords: knitting machine, acceptance of goods mechanism, dynamic loading acceptance of goods mechanism, mathematical experiment, the regression equation.

Одним із найбільш суттєвих факторів, що впливають на ефективність роботи круглов'язальних машин, є динамічні навантаження, що виникають в товароприйомному механізмі в період несталих режимів роботи (пуск, зупинка, перемикання механізмів та ін.) [1–4]. Для розв'язання актуальної проблеми підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин важливим є проведення досліджень впливу параметрів круглов'язальної машини на динамічні навантаження. Однак відсутність рекомендацій з вибору раціональних параметрів машини та режиму її роботи стримує розв'язання цієї задачі.

Об'єктом досліджень обрано математичний експеримент по оцінці впливу параметрів круглов'язальної машини КО-2 на динамічні навантаження товароприйомного механізму, що виникають в період пуску. При вирішенні поставлених задач були використані сучасні математичні методи планування, аналізу та статистичної обробки результатів експерименту динамічних процесів в'язальних машин.

Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин шляхом зниження динамічних навантажень, стаття присвячена математичному експерименту по оцінці впливу параметрів круглов'язальної машини КО-2 на динамічні навантаження товароприйомного механізму при пуску.

Аналіз досліджень [1–4] показує, що на ефективність в'язальних машин та автоматів (продуктивність та якість виробів) суттєво впливають динамічні навантаження, що виникають в їх механізмах під час несталих режимів роботи. Метою математичного експерименту є виявлення основних факторів круглов'язальної машини КО-2, що впливають на динамічні навантаження товароприйомного механізму при пуску, та отримання рівнянь регресії, які дають можливість оперативно та достовірно оцінити ефективність впливу цих факторів на динамічні навантаження.

При проведенні математичного експерименту був вибраний рототабельний план другого порядку, як найбільш ефективний при вирішенні задач аналізу багатьох факторів на функцію цілі [5, 6].

В результаті аналізу особливостей конструкції круглов'язальної машини КО-2 в якості факторів, що суттєво впливають на динамічні навантаження товароприйомного механізму при пуску, прийняті:

X_1 – пусковий момент електродвигуна (тут і надалі мається на увазі приведені значення) (T_1);

X_2 – момент інерції ротора електродвигуна з урахуванням моменту інерції ведучого шківів

клинопасової передачі (J_1);

X_3 – жорсткість пружної в’язі, що з’єднує першу та другу обертальні маси привода (C_{12});

Вихідні параметри (функції цілі):

Y_1 – максимальне динамічне навантаження в пружній в’язі, що з’єднує електродвигун з механізмами машини (максимальне динамічне навантаження привода);

Y_2 – максимальне динамічне навантаження в пружній в’язі, що з’єднує привід з товароприйомним механізмом (максимальне динамічне навантаження товароприйомного механізму при пуску).

У відповідності з поставленою метою досліджень авторами вирішувалась трифакторна задача.

В якості “ядра” плану експерименту використана матриця повного факторного експерименту [6]. “Зоряні” точки будують на осях координат на відстані плеча $l=1,682$. При цьому необхідна кількість дослідів становить: $N = 20$.

Кодування факторів здійснювалось по співвідношенню [6]:

$$X_i = \frac{C_i - C_{i0}}{\Delta C_i}, \tag{1}$$

де X_i – кодована величина фактору; C_i – натуральна величина фактору;

C_{i0} – натуральна величина фактору на нульовому рівні; ΔC_i – інтервал варіювання фактору.

Враховуючи технічну характеристику круглов’язальної машини КО-2 [2, 7], в якості нульових величин досліджуваних факторів приймаємо: $C_{10} = T_{10} = 48,6$ Нм; $C_{20} = J_{10} = 0,023$ кгм²; $C_{30} = 120 = 1940$ Нм/рад.

В якості діапазону та інтервалів варіювання досліджуваних факторів, враховуючи конструктивні особливості круглов’язальних машин типу КО та перспективи їх удосконалення, приймаємо:

$$\begin{aligned} T_1 &= (25,05...72,15) \text{ Нм}; & \Delta T_1 &= 14 \text{ Нм}; \\ J_1 &= (0,005...0,041) \text{ кгм}^2; & \Delta J_1 &= 0,0107 \text{ кгм}^2; \\ C_{12} &= (258...3622) \text{ Нм/рад}; & \Delta C_{12} &= 1000 \text{ Нм/рад}. \end{aligned}$$

Таким чином зв’язок між кодованими та натуральними величинами факторів буде наступним:

$$X_1 = \frac{T_1 - 48,6}{14}; \quad X_2 = \frac{J_1 - 0,023}{0,0107}; \quad X_3 = \frac{C_{12} - 1940}{1000} \tag{2}$$

Рівні та інтервали варіювання досліджуваних факторів наведено в табл. 1.

Використовуючи результати табл. 1 та рекомендації [6], побудована робоча матриця та матриця планування експерименту (табл. 2).

У відповідності з планом експерименту нами була проведена серія математичних експериментів, включаючи 20 дослідів – 20 варіантів розрахунків з використанням відомої методики [2], вихідних даних (параметри приведені до валу електродвигуна): $T_1 = 48,6$ Нм; $T_2 = 4,4$ Нм; $T_3 = 17,7$ Нм; $J_1 = 0,023$ кгм²; $J_2 = 0,041$ кгм²; $J_3 = 0,021$ кгм²; $C_{12} = 1940$ Нм/рад; $C_{23} = 3062$ Нм/рад та табл. 2. Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Рівняння регресії для визначення динамічних навантажень в механізмах круглов’язальної машини у відповідності з прийнятим планом експерименту може бути представлене у вигляді [6]:

$$\begin{aligned} Y &= B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_{12} X_1 X_2 + B_{13} X_1 X_3 + \\ &+ B_{23} X_2 X_3 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{33} X_3^2, \end{aligned} \tag{3}$$

де B_0 - вільний член рівняння регресії;

$B_1, B_2, B_3, B_{12}, B_{13}, B_{23}, B_{11}, B_{22}, B_{33}$ – коефіцієнти рівняння регресії.

Таблиця 1

Фактори	Рівні варіювання					Інтервал варіювання фактора
	-1,682	-1	0	1	1,682	
Пусковий момент електродвигуна T_1 , Нм (C_1)	25,05	34,6	48,6	62,6	72,15	14
Момент інерції першої маси машини J_1 , кгм ² (C_2)	0,005	0,123	0,023	0,0337	0,041	0,0107
Жорсткість пружної в’язі C_{12} , Нм/рад (C_3)	258	940	1940	2940	3622	1000

Використовуючи відповідну програму та вихідні дані (табл. 3), отримуємо необхідні величини коефіцієнтів рівняння регресії (3).

Таблиця 2

№ досліду	Робоча матриця (параметри)			Матриця планування		
	I_1 , Нм	J_1 , кгм ²	C_{12} , Нм/рад	1	2	3
1	62,6	0,0337	2940	+	+	+
2	62,6	0,0337	940	+	+	-
3	62,6	0,0123	2940	+	-	+
4	62,6	0,0123	940	+	-	-
5	34,6	0,0337	2940	-	+	+
6	34,6	0,0337	940	-	+	-
7	34,6	0,0123	2940	-	-	+
8	34,6	0,0123	940	-	-	-
9	25,05	0,0230	1940	-1,682	0	0
10	72,15	0,0230	1940	+1,682	0	0
11	48,6	0,0050	1940	0	-1,682	0
12	48,6	0,0410	1940	0	+1,682	0
13	48,6	0,0230	258	0	0	-1,682
14	48,6	0,0230	3622	0	0	+1,682
15	48,6	0,0230	1940	0	0	0
16	48,6	0,0230	1940	0	0	0
17	48,6	0,0230	1940	0	0	0
18	48,6	0,0230	1940	0	0	0
19	48,6	0,0230	1940	0	0	0
20	48,6	0,0230	1940	0	0	0

Таблиця 3

-2

Номер досліду	Максимальне навантаження		Номер досліду	Максимальне навантаження	
	привода $T_{12max}(Y_1)$, Нм	товароприйомного механізму $T_{23max}(Y_2)$, Нм		привода $T_{12max}(Y_1)$, Нм	товароприйомного механізму $T_{23max}(Y_2)$, Нм
1	93,778	66,457	11	92,846	66,680
2	93,007	57,656	12	70,983	50,493
3	111,006	85,302	13	80,047	47,820
4	110,404	77,559	14	80,704	61,071
5	55,048	43,978	15	79,865	60,768
6	54,800	40,738	16	79,865	60,768
7	63,464	50,841	17	79,865	60,768
8	62,443	52,049	18	79,865	60,768
9	42,822	39,094	19	79,865	60,768
10	115,326	80,688	20	79,865	60,768

Для функції цілі Y_1 :

$$B_0 = 79,88; B_1 = 21,55; B_2 = -6,40; B_3 = 0,27; B_{12} = -2,32;$$

$$B_{13} = 0,01; B_{23} = -0,08; B_{11} = -0,31; B_{22} = 0,69; B_{33} = 0,15.$$

Розрахунки підтвердили адекватність прийнятої моделі експерименту (розрахункове значення коефіцієнту Фішера $F_p = 2,879$ менше табличного $F = 5,01$).

Незначущими (довірча імовірність 0,95) є коефіцієнти: B_{13}, B_{23} .

Таким чином рівняння регресії для визначення максимального динамічного навантаження, що виникає при пуску круглов'язальної машини КО-2 в приводі, приймає вид:

$$Y_1 = 79,88 + 21,55X_1 - 6,4X_2 + 0,27X_3 - 2,32X_1X_2 - 0,31X_1^2 + 0,69X_2^2 + 0,15X_3^2. \quad (4)$$

Використовуючи залежності (2), виконаємо перехід у рівнянні (4) до натуральних значень факторів. Тоді остаточно одержимо:

$$T_{12max} = 2,049T_1 - 122,677J_1 - 15,487T_1J_1 - 3,12 \times 10^{-4}C_{12} - 1,58 \times 10^{-3}T_1^2 + 6026,727J_1^2 + 1,5 \times 10^{-7}C_{12}^2 + 1,01. \quad (5)$$

Для функції цілі Y_2 отримані наступні значення коефіцієнтів рівняння регресії:

$$B_0 = 60,79; B_1 = 12,39; B_2 = -6,16; B_3 = 2,99; B_{12} = -2,57;$$

$$B_{13} = 1,81; B_{23} = 0,69; B_{11} = 0,04; B_{22} = -0,42; B_{33} = -1,89.$$

Прийнята модель адекватна, так як умова $F_p < F$ виконується ($F_p = 2,879$; $F = 5,01$).

Розрахунки показали, що з ймовірністю 0,95 незначущими є коефіцієнти: B_{23} , B_{11} , B_{22} .

Тоді рівняння регресії (3) для функції цілі Y_2 (динамічного навантаження товароприйомного механізму при пуску) приймає вид:

$$Y_2 = 60,79 + 12,39X_1 - 6,16X_2 + 2,99X_3 - 2,57X_1X_2 + 1,81X_1X_3 - 1,89X_3^2. \quad (6)$$

Використовуючи залежності (2), виконаємо перехід у рівнянні (6) до натуральних значень факторів:

$$T_{23max} = 1,028T_1 + 258,091J_1 - 17,156T_1J_1 + 4,04 \times 10^{-3}C_{12} + \\ + 1,293 \times 10^{-4}T_1C_{12} - 1,89 \times 10^{-6}C_{12}^2 + 11,119. \quad (7)$$

Враховуючи нульові величини досліджуваних факторів: $T_{10} = 48,6$ Нм; $J_{10} = 0,023$ кгм²; $120 = 1940$ Нм/рад та використовуючи рівняння (5), (7), одержуємо залежності впливу параметрів круглов'язальної машини КО-2 на динамічні навантаження товароприйомного механізму при пуску:

$$T_{23max} = f(T_1) = 0,885T_1 + 17,779; \\ T_{23max} = f(J_1) = 73,995 - 576,69J_1; \\ T_{23max} = f(C_{12}) = 1,032 \times 10^{-2}C_{12} - 1,89 \times 10^{-6}C_{12}^2 + 47,839. \quad (8)$$

В результаті виконаних досліджень встановлено, що:

- отримані результати підтверджують допустимість припущень, прийнятих при побудові даної математичної моделі та про можливість використання отриманих рівнянь регресії для визначення динамічних навантажень, що виникають в товароприйомному механізмі при пуску круглов'язальної машини типу КО;
- дослідження показали ефективність використання рівнянь регресії для аналізу впливу параметрів круглов'язальної машини на динамічні навантаження, що виникають в товароприйомному механізмі при пуску;
- отримані рівняння регресії відрізняються простотою та наочністю і не потребують великих затрат часу та спеціальної розрахункової техніки для вирішення завдань динамічного аналізу товароприйомного механізму в'язальних машин типу КО;
- результати досліджень можуть бути використані при проектуванні нових більш ефективних типів круглов'язальних машин.

1. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / Хомяк О.Н., Пипа Б.Ф. – М. : Легпромиздат, 1990. – 208 с.
2. Пипа Б. Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Б.Ф. Пипа Б. Ф., О.М. Хомяк, Г.І. Павленко. – К. : КНУТД, 2005. – 294 с.
3. Хомяк О. М. Динаміка плосков'язальних машин та автоматів. – К. : КНУТД, 2008. – 250 с.
4. Чабан В. В. Динаміка основов'язальних машин / В.В. Чабан, Л.А. Бакан, Б.Ф. Пипа. – К. : КНУТД, 2012. – 287 с.
5. Виноградов Ю.С. Математическая статистика и ее применение к исследованиям в текстильной промышленности / Виноградов Ю.С. – М. : Легкая индустрия, 1964. – 319 с.
6. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента / Тихомиров В.Б. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 260 с.
7. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы, 1992. – 86 с.

References

1. Khomyak O.N. & Pipa B.F. (1990). Povyshenie effektivnosti raboty vyazal'nykh mashin [Increase the efficiency of knitting machines]. Moscow: Legprombytizdat
2. Pipa B.F., Khomiak O.M. & H.I. Pavlenko (2005). Dynamika kruhlov'iazal'nykh mashyn [Dynamics of circular knitting machines]. Kiev: KNUITD.
3. Khomiak O. M. (2008). Dynamika ploskov'iazal'nykh mashyn ta avtomativ [Dynamics of flat knitting machine]. Kiev: KNUITD.
4. Chaban V. V., Bakan L.A. & Pipa B.F. (2012) Dynamika osnovov'iazal'nykh mashyn [The dynamics of warp-knitting machine]. Kiev: KNUITD.
5. Vinogradov Yu.S. (1964). Matematicheskaya statistika i ee primeneniye k issledovaniyam v tekstil'noy promyshlennosti [Mathematical statistics and its application to research in the textile industry]. Moscow: Legkaya industriya.
6. Tikhomirov V.B. (1974). Planirovaniye i analiz eksperimenta [Planning and analysis of the experiment]. Moscow: Legkaya industriya
7. Mashiny kruglovyazal'nye tipa KO-2. Tekhnicheskoye opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii [Circular knitting machines of type KO-2. Technical description and user manual] (1992). Chernovtsy.