

УДК 677.055

МУЗИЧИШИН С. В., ППА Б. Ф.

Київський національний університет технологій та дизайну

### МАТЕМАТИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПО ОЦІНЦІ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ КО-2 НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИВОДУ

**Мета.** Проведення математичного експерименту по оцінці впливу параметрів круглов'язальної машини КО-2 на динамічні навантаження привода.

**Методика.** Використані сучасні математичні методи планування, аналізу та статистичної обробки результатів експерименту динамічних процесів в в'язальних машинах та автоматах.

**Результати.** 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 приводі під час пуску. Виявлено основні параметри, що впливають на величину динамічних навантажень. В результаті виконаних досліджень одержані рівняння регресії, що дозволяють оперативно знаходити величину динамічних навантажень привода в залежності від основних параметрів машини. Результати досліджень можуть бути використані для розрахунку динамічних навантажень та оцінки впливу параметрів привода на їх величину будь-яких типів в'язальних машин та автоматів.

**Наукова новизна.** Розробка методу математичного експерименту оцінки впливу параметрів круглов'язальних машин типу КО на динамічні навантаження привода.

**Практична значимість.** Розробка інженерного методу проведення математичного експерименту по оцінці впливу параметрів круглов'язальної машини на динамічні навантаження привода.

**Ключові слова:** в'язальна машина, привід в'язальної машини, динамічні навантаження привода, математичний експеримент, рівняння регресії.

**Вступ.** Одним із найбільш суттєвих факторів, що впливають на ефективність роботи в'язальних машин та автоматів, є динамічні навантаження, що виникають в приводі в період несталих режимів роботи (пуск, зупинка, перемикання механізмів та ін.) [1- 4]. Для розв'язання актуальної проблеми підвищення ефективності роботи в'язальних машин та автоматів важливим є проведення досліджень впливу параметрів привода на динамічні навантаження. Однак відсутність рекомендацій по вибору раціональних параметрів привода та режиму його роботи стримує вирішення цієї задачі.

**Постановка завдання.** Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи в'язальних машин та автоматів шляхом зниження динамічних навантажень, стаття присвячена математичному експерименту по оцінці впливу параметрів круглов'язальної машини КО-2 на динамічні навантаження привода.

**Результати дослідження.** Аналіз досліджень [1-4] показує, що на ефективність в'язальних машин та автоматів (продуктивність та якість виробів) суттєво впливають динамічні навантаження, що виникають в приводі під час несталих режимів роботи. Метою математичного експерименту є виявлення основних факторів, що впливають на динамічні навантаження, та отримання рівнянь регресії, які дають можливість оперативно та достовірно оцінити ефективність впливу цих факторів на динамічні навантаження привода. При проведенні математичного експерименту був вибраний рототабельний план другого порядку, як найбільш ефективний при вирішенні задач аналізу багатьох факторів на функцію цілі [5, 6].

У якості факторів, що суттєво впливають на динамічні навантаження в приводі круглов'язальної машини КО-2, прийняті:

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

$X_2$  – 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 маси привода ( $C_{12}$ );

Вихідні параметри (функції цілі):

$Y_1$  – максимальне динамічне навантаження в пружній в'язі, що з'єднує першу та другу маси привода;

$Y_2$  – максимальне динамічне навантаження в пружній в'язі, що з'єднує другу та третю маси круглов'язальної машини.

У відповідності з поставленою метою досліджень авторами вирішувалась трьохфакторна задача. В якості “ядра” плану експерименту використана матриця повного факторного експерименту [6]. “Зоряні” точки будуємо на осях координат на відстані плеча  $l = 1,682$ . При цьому необхідна кількість дослідів становить:  $N = 20$ . Кодування факторів здійснювалось по співвідношенню [6]:

$$X_i = \frac{C_i - C_{i0}}{\Delta C_i}, \quad (1)$$

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

$C_{i0}$  – натуральна величина фактору на нульовому рівні;  $\Delta C_i$  – 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;  $C_{20} = J_{10} = 0,023$  кгм<sup>2</sup>;  $C_{30} = C_{120} = 1940$  Нм/рад. В якості діапазону та інтервалів варіювання досліджуваних факторів, враховуючи конструктивні особливості круглов'язальних машин типу КО та перспективи їх удосконалення, приймаємо:

$$T_1 = (25,05 \dots 72,15) \text{ Нм}; \quad \Delta T_1 = 14 \text{ Нм};$$

$$J_1 = (0,005 \dots 0,041) \text{ кгм}^2; \quad \Delta J_1 = 0,0107 \text{ кгм}^2;$$

$$C_{12} = (258 \dots 3622) \text{ Нм/рад}; \quad \Delta C_{12} = 1000 \text{ Нм/рад}.$$

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

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

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;  $J_1 = 0,023$  кгм<sup>2</sup>;  $J_2 = 0,041$  кгм<sup>2</sup>;  $J_3 = 0,021$  кгм<sup>2</sup>;  $C_{12} = 1940$  Нм/рад;  $C_{23} = 3062$  Нм/рад та табл. 2. Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Таблиця 1

**Рівні та інтервали варіювання факторів**

Фактори	Рівні варіювання					Інтервал варіювання фактора
	-1,682	-1	0	1	1,682	
Пусковий момент електродвигуна $T_1$ , Нм ( $X_1$ )	25,05	34,6	48,6	62,6	72,15	14
Момент інерції першої маси машини $J_1$ , кгм <sup>2</sup> ( $X_2$ )	0,005	0,123	0,023	0,0337	0,041	0,0107
Жорсткість пружної в'язі $C_{12}$ , Нм/рад ( $X_3$ )	258	940	1940	2940	3622	1000

Таблиця 2

**Робоча матриця та матриця планування експерименту**

№ дослідю	Робоча матриця (параметри)			Матриця планування		
	$T_1$ , Нм	$J_1$ , кгм <sup>2</sup>	$C_{12}$ , Нм/рад	$X_1$	$X_2$	$X_3$
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

**Результати математичного експерименту динамічних навантажень в приводі круглов'язальної машини КО-2**

Номер дослідю	Максимальне навантаження		Номер дослідю	Максимальне навантаження	
	$T_{12max}(Y_1)$ , Нм	$T_{23max}(Y_2)$ , Нм		$T_{12max}(Y_1)$ , Нм	$T_{23max}(Y_2)$ , 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

Рівняння регресії для визначення динамічних навантажень у приводі круглов'язальної машини у відповідності з прийнятим планом експерименту може бути представлено у вигляді [6]:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_{12} X_1 X_2 + B_{13} X_1 X_3 + B_{23} X_2 X_3 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{33} X_3^2, \quad (3)$$

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.

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

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 першій пружній в'язі ( $C_{12}$ ), приймає вид:

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

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

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

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  $Y_2$  приймає вид:

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

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

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

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

$$\begin{aligned} T_{12 \max} &= f(T_1) = 1,693 T_1 - 1,58 \cdot 10^{-3} T_1^2 + 1,336; \\ T_{23 \max} &= f(T_1) = 0,885 T_1 + 17,779; \\ T_{12 \max} &= f(J_1) = 6026,727 J_1^2 - 875,345 J_1 + 96,818; \\ T_{23 \max} &= f(J_1) = 73,995 - 576,69 J_1; \end{aligned} \quad (8)$$

$$T_{12\max} = f(C_{12}) = 1,5 \cdot 10^{-7} C_{12}^2 - 3,12 \cdot 10^{-4} C_{12} + 79,914;$$

$$T_{23\max} = f(C_{12}) = 1,032 \cdot 10^{-2} C_{12} - 1,89 \cdot 10^{-6} C_{12}^2 + 47,839.$$

**Висновки.** Виконані дослідження показують наступне:

- отримані результати свідчать про допустимість допущень, прийнятих при побудові даної математичної моделі, та про можливість використання отриманих рівнянь регресії для визначення динамічних навантажень, що виникають у приводі круглов'язальних машин типу КО;

- дослідження показали ефективність використання рівнянь регресії для аналізу впливу параметрів привода на динамічні навантаження, що виникають при пуску круглов'язальної машини;

- отримані рівняння регресії відрізняються простотою та наочністю й не потребують великих затрат часу й спеціальної розрахункової техніки для вирішення завдань динамічного аналізу привода в'язальних машин типу КО;

- результати досліджень можуть бути використані при проектуванні нових більш ефективних типів приводів в'язальних машин та автоматів.

#### Список використаних джерел

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

#### МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ КО-2 НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПРИВОДА

МУЗЫЧИШИН С.В., ПИПА Б.Ф.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Проведение математического эксперимента по оценке влияния параметров кругловязальной машины КО-2 на динамические нагрузки привода.

**Методика.** Используются современные математические методы планирования, анализа и статистической обработки результатов эксперимента динамических процессов в вязальных машинах и автоматах.

**Результаты.** На основе анализа особенностей кругловязальных машин установлена целесообразность использования методов математического планирования и проведения экспериментальных исследований влияния параметров машины на динамические нагрузки, возникающие в приводе при пуске. Выявлены основные параметры, влияющие на величину динамических нагрузок. В результате выполненных исследований получены уравнения

регрессии, позволяющие оперативно находить величину динамических нагрузок привода в зависимости от основных параметров машины. Результаты исследований могут быть использованы для расчета динамических нагрузок и оценки влияния параметров привода на их величину любых типов вязальных машин и автоматов.

**Научная новизна.** Разработка метода математического эксперимента оценки влияния параметров кругловязальных машин типа КО на динамические нагрузки поводу.

**Практическая значимость.** Разработка инженерного метода проведения математического эксперимента по оценке влияния параметров кругловязальные машины на динамические нагрузки привода.

**Ключевые слова:** вязальная машина, привод вязальной машины, динамические нагрузки привода, математический эксперимент, уравнение регрессии.

## MATHEMATICAL EXPERIMENTS ASSESSMENT INFLUENCE OF PARAMETERS ROUND KNITTING MACHINE KO-2 DYNAMIC LOAD DRIVE

MUZYCHISHIN S., PIPA B.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Aim.** Carrying out mathematical experiment evaluating the effect parameters circular knitting machine KO-2 dynamic drive load.

**Methodology.** Use advanced mathematical methods of planning, analysis and statistical processing of the experimental results of dynamic processes in knitting machines and vending machines.

**Results.** On the basis of analyzing circular knitting machines installed the feasibility of using the methods of mathematical planning and conducting experimental studies of the influence of machine parameters on the dynamic loads occurring in the drive at startup. The basic parameters affecting the magnitude of dynamic loads. As a result of the research regression equations allows to find the magnitude of dynamic loads in dependence of the main parameters of the machine. The research results can be used for calculating the dynamic loads and impact assessment of the drive parameters to their size any type of knitting machines and machines.

**Scientific novelty.** Development of the method of mathematical experiment impact assessment parameters knitting machines such as KO on dynamic load drive.

**Practical meaningfulness.** The results of studies of the effect of starting torque electric motor driving the mass moment of inertia and rigidity of the elastic tie on drive dynamic loads knitting machine KO-2.

**Keywords:** *knitting machine, knitting machine drive, dynamic drive load, mathematical experiment, the regression equation.*