

## ВПЛИВ РЕЖИМУ ПУСКУ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ

*Ефективність роботи круглов'язальних машин в значній мірі залежить від динамічних навантажень, що виникають в період несталих режимів роботи (пуск, гальмування, та ін.). Враховуючи це, стаття присвячена аналізу впливу режиму пуску круглов'язальної машини на динамічні навантаження. Представлено результати досліджень по вибору раціонального режиму пуску круглов'язальної машини, що забезпечує зниження динамічних напружень в'язей привода та обмеження пускового моменту електродвигуна. Наведено методіку та приклад розрахунку динамічних навантажень, що виникають під час пуску круглов'язальної машини з попередньо напруженими в'язями привода.*

*Ключові слова:* круглов'язальна машина, привід круглов'язальної машини, режим пуску, динамічні навантаження.

B.F. PIPA, V.V. CHABAN

Kyiv National University of Technology and Design

### INFLUENCE OF THE MODE OF STARTING OF KNITTING MACHINE ON THE DYNAMIC LOADING

*Efficiency of work of knittings machines largely depends on the dynamic loading, arising up in the period of the unset office (starting, braking, and other) hours. Taking into account it, the article is sanctified to the analysis of influence of the mode of starting of knitting machine on the dynamic loading. The results of researches are presented on the choice of the rational mode of starting of knitting machine, providing the decline of the dynamic loading in a drive. More perfect construction of drive is offered with the mean of creation of previous tension of connections of drive and limitation of starting moment of electric motor. Methodology over and example of calculation of the dynamic loading, arising up at starting of knitting machine with preliminary tense connections of drive are brought.*

*Keywords:* knitting machine, drive of knitting machine, starting mode, dynamic loading.

Недоліком відомих конструкцій приводів круглов'язальних машин є значні динамічні навантаження, що виникають під час пуску та негативно впливають на надійність та довговічність їх роботи [1, 2].

Враховуючи доцільність підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин шляхом удосконалення конструкцій їх привода, направлено на зниження динамічних пускових навантажень, проблема розробки нових конструкцій приводів та методів їх проектування є актуальною для сучасного легкого машинобудування.

#### Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано привід круглов'язальної машини з засобом створення попереднього напруження в'язей привода та обмеження пускового моменту електродвигуна, що забезпечує ефективне зниження динамічних навантажень, та метод розрахунку динамічних навантажень, що виникають під час пуску круглов'язальної машини з попередньо напруженими в'язями привода. При вирішенні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії динаміки механічних систем з пружними в'язями.

#### Постановка завдання

Завдання досліджень: аналіз впливу режиму пуску круглов'язальної машини на динамічні навантаження; розробка нової більш досконалої конструкції привода круглов'язальних машин – привода, що містить засіб попереднього напруження в'язей привода і обмеження пускового моменту електродвигуна; метод розрахунку динамічних навантажень, що виникають під час пуску круглов'язальної машини з попередньо напруженими в'язями привода.

#### Результати і їх обговорення

Враховуючи недоліки існуючих конструкцій приводів круглов'язальних машин [1–3], авторами запропоновано нову більш ефективну конструкцію круглов'язальної машини з приводом, що містить засіб попереднього напруження в'язей привода та обмеження пускового моменту електродвигуна, схема якої представлена на рис. 1.

Принцип роботи привода полягає в наступному: система керування пуску привода виконана таким чином, що при пуску машини спершу вмикається електродвигун, а потім з деякою затримкою в часі вмикається електромагнітна дискова фрикційна муфта. При вмиканні електродвигуна 1 його крутний момент, обмежений початковим моментом фрикційної муфти 16, що його створює пружина стиску 19 шляхом притиску ведучої півмуфти 17 до веденої півмуфти 18, здійснює попереднє напруження пружних в'язей привода (паси клинопасової передачі і вали) та вибір зазорів у зубчастих передачах привода. Регулювання сили притиску ведучої півмуфти до веденої виконано так, що початковий момент муфти не перевищує величини сумарного моменту сил опору механізмів круглов'язальної машини, і тому обертальний рух електродвигуна не передається приводному валу 3. По закінченні часу витримки, необхідного для створення попереднього напруження пружних в'язей привода, здійснюється вмикання

муфти 16. При цьому збільшується величина її крутного моменту, що забезпечує можливість передачі обертового руху від електродвигуна 1 до приводного валу 3. Обертальний рух приводного валу 3 за допомогою клинопасової передачі (2, 4, 5) передається проміжному валу 7 та ведучій шестерні 6 і далі через зубчасте зачеплення 6–8 – вертикальному приводному валу 9, на якому жорстко встановлене зубчасте колесо 8. При цьому жорстко закріплені на кінцях вертикального приводного валу 9 циліндричні шестерні 10 і 11 через зубчасте зачеплення з колесами 12, 13 приводять в обертальний рух голковий циліндр механізму в'язання 14 та механізм товароприйому 15, що необхідно для роботи круглов'язальної машини – в'язання трикотажного полотна.

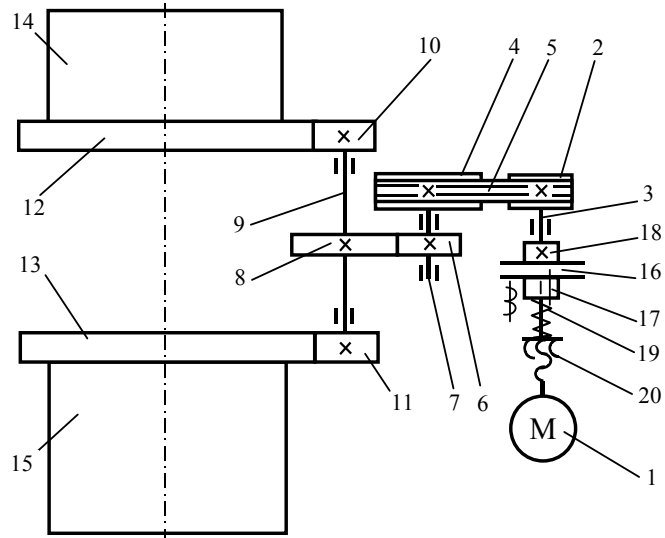


Рис.1. Кінематична схема круглов'язальної машини

Наявність початкового моменту фрикційної муфти 16 забезпечує попереднє (перед остаточним пуском машини) напруження пружних в'язей привода, що знижує пускові динамічні навантаження в приводі і, таким чином, призводить до підвищення надійності та довговічності роботи привода та машини в цілому. Величина початкового моменту муфти регулюється шляхом регулювання сили пружини стиску 19, що досягається за допомогою гайки 20, нагвинченої на вал електродвигуна 1.

Розглянемо особливості режиму пуску круглов'язальної машини при наявності в її складі запропонованої конструкції привода. В даному випадку пуск круглов'язальної машини буде відбуватися в один етап – в момент пуску всі маси привода одночасно приходять в рух (одноетапний режим пуску).

Як відомо [2], сучасні круглов'язальні машини при аналізі пускових динамічних навантажень можуть бути представлені у вигляді тримасової моделі з першою ведучою масою (рис. 2).

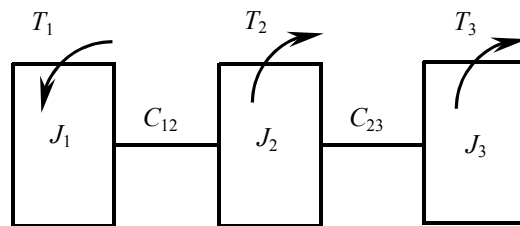


Рис. 2. Динамічна модель круглов'язальної машини типу КО:  $T_1$  – момент електродвигуна (тут і далі приведені значення);  $T_2$  – момент сил опору механізму в'язання;  $T_3$  – момент сил опору механізму товароприйому;  $J_1$  – сумарний момент інерції ротора електродвигуна, муфти і ведучого шківів клинопасової передачі;  $J_2$  – момент інерції обертових мас механізму в'язання;  $J_3$  – момент інерції обертових мас механізму товароприйому;  $C_{12}$  – жорсткість елементів привода, що з'єднують електродвигун з вертикальним приводним валом (пасова передача та інше);  $C_{23}$  – жорсткість ділянки вертикального приводного валу, що передає рух механізму товароприйому

Динамічні умови рівноваги мас системи для цього режиму пуску мають вигляд [2, 4]:

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 &= T_1 - T_{12}; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 &= T_{12} - T_{23} - T_2; \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 &= T_{23} - T_3. \end{aligned} \tag{1}$$

Підставивши значення  $\ddot{\varphi}_1$ ,  $\ddot{\varphi}_2$ ,  $\ddot{\varphi}_3$  із системи рівнянь (1) у вирази  $\ddot{T}_{12} = C_{12}(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2)$ ;

$\ddot{T}_{23} = C_{23}(\ddot{\varphi}_2 - \ddot{\varphi}_3)$ , отримаємо:

$$\begin{aligned} \ddot{T}_{12} &= \frac{C_{12}}{J_1 J_2} [-T_{12}(J_1 + J_2) + T_{23} J_1 + T_1 J_2 + T_2 J_1]; \\ \ddot{T}_{23} &= \frac{C_{23}}{J_2 J_3} [T_{12} J_3 - T_{23}(J_2 + J_3) - T_2 J_3 + T_3 J_2]. \end{aligned} \tag{2}$$

Загальний розв'язок для моментів сил пружності  $T_{12}$  і  $T_{23}$  може бути виражений сумою загального розв'язку однорідних рівнянь і частинного розв'язку неоднорідних рівнянь.

Частинний розв'язок визначаємо, використовуючи систему рівнянь (2):

$$\begin{aligned} -a_{12}(J_1 + J_2) + a_{23}J_1 + T_1J_2 + T_2J_1 &= 0; \\ a_{12}J_3 - a_{23}(J_2 + J_3) - M_2J_3 + M_3J_2 &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (3), знаходимо постійні відповідних моментів сил пружності:

$$a_{23} = \frac{(T_1 - M_2)J_3 + T_3(J_1 + J_2)}{J_1 + J_2 + J_3}; \quad a_{12} = a_{23} \frac{J_2 + J_3}{J_3} + T_2 - T_3 \frac{J_2}{J_3}. \quad (4)$$

Циклові частоти зміни моментів сил пружності на ділянках 1–2, 2–3 тримасової системи в період пуску визначаємо, використовуючи рівняння вільних коливань мас системи:

$$\begin{aligned} J_1\ddot{\varphi}_1 + C_{12}\varphi_1 - C_{12}\varphi_2 &= 0; \\ J_2\ddot{\varphi}_2 - C_{12}\varphi_1 + (C_{12} + C_{23})\varphi_2 - C_{23}\varphi_3 &= 0; \\ J_3\ddot{\varphi}_3 - C_{23}\varphi_2 + C_{23}\varphi_3 &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Знаходячи розв'язки цієї системи диференціальних рівнянь у вигляді  $\varphi_i = \Phi_i \sin(\beta t + \alpha)$  і підставляючи їх в (5), отримаємо:

$$\varphi_1 = \Phi_1 \sin(\beta t + \alpha); \quad \varphi_2 = \Phi_2 \sin(\beta t + \alpha); \quad \varphi_3 = \Phi_3 \sin(\beta t + \alpha)$$

та їх другі похідні. Після скорочення на загальний множник  $\sin(\beta t + \alpha)$  маємо:

$$\begin{aligned} (C_{12} - J_1\beta^2)\Phi_1 - C_{12}\Phi_2 &= 0; \\ -C_{12}\Phi_1 + (C_{12} + C_{23} - J_2\beta^2)\Phi_2 - C_{23}\Phi_3 &= 0; \\ -C_{23}\Phi_2 + (C_{23} - J_3\beta^2)\Phi_3 &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Визначник цієї системи  $\Delta(\beta^2)$  запишеться у вигляді:

$$\Delta(\beta^2) = \begin{vmatrix} C_{12} - J_1\beta^2, & -C_{12}, & 0 \\ -C_{12}, & C_{12} + C_{23} - J_2\beta^2, & -C_{23} \\ 0, & -C_{23}, & C_{23} - J_3\beta^2 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Розкриваючи визначник по невідомому  $\beta^2$  і прирівнюючи його нуля, після нескладних перетворень отримаємо частотне рівняння системи:

$$\beta^4 - \left( C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} + C_{23} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3} \right) \beta^2 + C_{12} C_{23} \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1 J_2 J_3} = 0. \quad (8)$$

Звідки:

$$\begin{aligned} \beta_{1,2}^2 &= \frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{2J_1 J_2} + \frac{C_{23}(J_2 + J_3)}{2J_2 J_3} \pm \\ &\pm \sqrt{\left[ \frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{2J_1 J_2} + \frac{C_{23}(J_2 + J_3)}{2J_2 J_3} \right]^2 - C_{12} C_{23} \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1 J_2 J_3}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Повний розв'язок однорідних рівнянь руху системи при третьому етапі пуску прийме вигляд:

$$\begin{aligned} y_{12} &= A_{(12)1} \cos \beta_1 t + A_{(12)2} \cos \beta_2 t + B_{(12)1} \sin \beta_1 t + B_{(12)2} \sin \beta_2 t; \\ y_{23} &= A_{(23)1} \cos \beta_1 t + A_{(23)2} \cos \beta_2 t + B_{(23)1} \sin \beta_1 t + B_{(23)2} \sin \beta_2 t. \end{aligned}$$

Тоді:

$$\begin{aligned} T_{12} &= A_{(12)1} \cos \beta_1 t + A_{(12)2} \cos \beta_2 t + B_{(12)1} \sin \beta_1 t + B_{(12)2} \sin \beta_2 t + a_{12}; \\ T_{23} &= A_{(23)1} \cos \beta_1 t + A_{(23)2} \cos \beta_2 t + B_{(23)1} \sin \beta_1 t + B_{(23)2} \sin \beta_2 t + a_{23}. \end{aligned} \quad (10)$$

Амплітуди гармонік  $\cos$  і  $\sin$  визначаються з урахувань рекомендацій [2, 4]:

$$\begin{aligned} A_{(12)1} &= \frac{\Delta_{12} [T_{(12)0} - a_{12}] - \frac{C_{12}}{J_2} [T_{(23)0} - a_{23}]}{\beta_1^2 - \beta_2^2}; \\ A_{(12)2} &= \frac{\frac{C_{12}}{J_2} [T_{(23)0} - a_{23}] - \Delta_{11} [T_{(12)0} - a_{12}]}{\beta_1^2 - \beta_2^2}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$A_{(23)1} = \frac{\Delta_{11}}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left\{ \frac{J_2}{C_{12}} \Delta_{12} [T_{(12)0} - a_{12}] - T_{(23)0} + a_{23} \right\}; \quad (12)$$

$$A_{(23)2} = \frac{\Delta_{12}}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left\{ T_{(23)0} - a_{23} - \frac{J_2}{C_{12}} \Delta_{11} [T_{(12)0} - a_{12}] \right\};$$

$$B_{(12)1} = \frac{\Delta_{12} \dot{T}_{(12)0} - \frac{C_{12}}{J_2} \dot{T}_{(23)0}}{\beta_1 (\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \quad (13)$$

$$B_{(12)2} = \frac{\frac{C_{12}}{J_2} \dot{T}_{(23)0} - \Delta_{11} \dot{T}_{(12)0}}{\beta_1 (\beta_1^2 - \beta_2^2)};$$

$$B_{(23)1} = \frac{\Delta_{11}}{\beta_1 (\beta_1^2 - \beta_2^2)} \left[ \frac{J_2}{C_{12}} \Delta_{12} \dot{T}_{(12)0} - \dot{T}_{(23)0} \right]; \quad (14)$$

$$B_{(23)2} = \frac{\Delta_{12}}{\beta_2 (\beta_1^2 - \beta_2^2)} \left[ \dot{T}_{(23)0} - \frac{J_2}{C_{12}} \Delta_{11} \dot{T}_{(12)0} \right],$$

де

$$\Delta_{11} = \beta_{12}^2 - \beta_1^2; \quad \Delta_{12} = \beta_{12}^2 - \beta_2^2; \quad \beta_{12}^2 = C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2}. \quad (15)$$

Враховуючи, що початковими умовами пуску машини з попередньо напруженими в'язями привода будуть:

$$T_{(12)0} = T_2 + T_3; \quad \dot{T}_{(12)0} = 0; \quad T_{(23)0} = T_3; \quad \dot{T}_{(23)0} = 0, \quad (16)$$

рівняння (11)–(14) для знаходження амплітуд гармонік коливань пружної системи набувають вигляду:

$$A_{(12)1} = \frac{\Delta_{12} (T_2 + T_3 - a_{12}) - \frac{C_{12}}{J_2} (T_3 - a_{23})}{\beta_1^2 - \beta_2^2}; \quad (17)$$

$$A_{(12)2} = \frac{\frac{C_{12}}{J_2} (T_3 - a_{23}) - \Delta_{11} (T_2 + T_3 - a_{12})}{\beta_1^2 - \beta_2^2}; \quad (18)$$

$$A_{(23)1} = \frac{\Delta_{11}}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left[ \frac{J_2}{C_{12}} \Delta_{12} (T_1 - a_{12}) + T_3 \left( \frac{J_2}{C_{12}} \Delta_{12} - 1 \right) + a_{23} \right]; \quad (19)$$

$$A_{(23)2} = \frac{\Delta_{12}}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left[ T_3 \left( 1 - \frac{J_2}{C_{12}} \Delta_{11} \right) - \frac{J_2}{C_{12}} \Delta_{11} (T_2 - a_{12}) - a_{23} \right]; \quad (20)$$

$$B_{(12)1} = B_{(12)2} = B_{(23)1} = B_{(23)2} = 0. \quad (21)$$

Тоді, враховуючи (21), максимальні динамічні навантаження  $T_{12\max}$ ,  $T_{23\max}$ , що виникають в приводі в разі пуску круглов'язальної машини з попередньо напруженими в'язями привода, згідно з (10) будуть дорівнювати:

$$T_{12\max} = [A_{(12)1}] + [A_{(12)2}] + a_{12}; \quad (22)$$

$$T_{23\max} = [A_{(23)1}] + [A_{(23)2}] + a_{23}. \quad (23)$$

Перевантаження ( $k_{12}$ ,  $k_{23}$ ), що виникають в пружних в'язях привода під час пуску машини, можуть бути визначені з рівнянь:

$$k_{12} = \frac{T_{12\max}}{T_2 + T_3}; \quad k_{23} = \frac{T_{23\max}}{T_3}. \quad (24)$$

Оцінимо ефективність використання запропонованого привода з засобом створення попереднього напруження його в'язей та обмеження пускового моменту електродвигуна, виконаним у вигляді електромагнітної дискової фрикційної муфти з початковим крутним моментом, в разі використання його у складі однофонтурної круглов'язальної машини Ваніт.

При динамічному аналізі пуску машини її реальну схему можна представити у вигляді тримасової розрахункової моделі з першою ведучою масою [2] (рис. 2). Вихідними даними для цього випадку слід прийняти [2]:  $T_1 = 47,6$  Нм (при пуску машини без обмеження пускового моменту електродвигуна);

$T_1 = 1,2 \cdot 47,6 = 28,56$  Нм (при обмеженні пускового моменту електродвигуна);  $T_2 = 13,8$  Нм;  $T_3 = 10$  Нм;  $J_1 = 0,076$  кгм<sup>2</sup>;  $J_2 = 0,01$  кгм<sup>2</sup>;  $J_3 = 0,008$  кгм<sup>2</sup>;  $C_{12} = 1560$  Нм/рад;  $C_{23} = 1650$  Нм/рад.

Аналіз показує, що режими пуску круглов'язальної машини Ваніт можуть бути наступними: поетапний пуск (без попереднього напруження пружних в'язей привода) без обмеження пускового моменту електродвигуна – режим 1; одноетапний пуск (з попереднім напруженням пружних в'язей привода) без обмеження пускового моменту електродвигуна – режим 2; одноетапний пуск (з попереднім напруженням пружних в'язей привода) з обмеженням пускового моменту електродвигуна – режим 3.

Виконані розрахунки з використанням відомих [2, 4] та вище приведеної методик показують (табл. 1), що найбільш раціональним режимом пуску круглов'язальної машини є режим пуску з попереднім напруженням пружних в'язей привода та одночасним обмеженням пускового моменту електродвигуна (режим 3). Такий режим пуску може бути здійсненим при наявності у складі привода запропонованого авторами засобу попереднього напруження пружних в'язей привода та обмеження пускового моменту його електродвигуна.

Таблиця 1

**Результати розрахунку динамічних навантажень,  
що виникають під час пуску круглов'язальної машини Ваніт**

Параметр	Режим пуску		
	Режим 1 $T_1 = 47,6$ Нм	Режим 2 $T_1 = 47,6$ Нм	Режим 3 $T_1 = 28,56$ Нм
$T_{12\max}$ , Нм	43,88	32,799	25,6
$T_{23\max}$ , Нм	24,9	14,91	11,109
$k_{12}$	1,84	1,378	1,075
$k_{23}$	2,49	1,49	1,11

### Висновки

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- запропонована авторами конструкція привода круглов'язальної машини з засобом попереднього напруження в'язей та обмеження пускового моменту електродвигуна, виконаним у вигляді електромагнітної дискової фрикційної муфти з початковим крутним моментом дозволяє ефективно знизити динамічні навантаження, що виникають в приводі під час пуску (в окремих випадках більше ніж у 2 рази);
- використання даного засобу у складі привода дозволяє підвищити довговічність та надійність роботи як самого привода, так і круглов'язальної машини, де він використовується;
- запропонована конструкція засобу попереднього напруження в'язей привода та обмеження пускового моменту електродвигуна може бути використана і для інших типів машин як легкого, так і загального машинобудування.

### Література

1. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О.Н. Хомяк, Б.Ф. Пипа. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 208 с.
2. Пипа Б.Ф. Динамика круглов'язальних машин / Пипа Б.Ф., Хомяк О.М., Павленко Г.І. – К. : КНУТД, 2005. – 294 с.
3. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин / Гарбарук В.Н. – Л. : Машиностроение, 1980. – 472 с.
4. Кожевников С.Н. Динамика машин с упругими звеньями / Кожевников С.Н.. – К. : Изд-во АН УССР, 1961. – 190 с.

### References

1. Khomiak O.N. Povyshenye efektyvnosti raboty viazalnykh mashyn / O.N. Khomiak, B.F. Pupa. – M. : Lehprombytyzdat, 1990. – 208 s.
2. Pipa B.F. Dynamika kruhloviazalnykh mashyn / Pipa B.F., Khomiak O.M., Pavlenko H.I. – K. : KNUTD, 2005. – 294 s.
3. Harbaruk V.N. Proektyrovanye trykotazhnykh mashyn / Harbaruk V.N. – L. : Mashynstroeniye, 1980. – 472 s.
4. Kozhevnykov S.N. Dynamika mashyn s uprugymy zveniyami / Kozhevnykov S.N.. – K. : Yzd-vo AN USSSR, 1961. – 190 s.

Рецензія/Peer review : 5.1.2014 р. Надрукована/Printed : 7.4.2014 р.

Рецензент: А.С. Зенкін, д.т.н., проф., завідувач кафедри МСС КНУТД (A.S. Zenkin, doctor of engineering sciences, professor, managing the department of MSC KNUTD)