

УДК 677.055

ППА Б. Ф., ЧАБАН В. В., МУЗИЧИШИН С.В.
Київський національний університет технологій та дизайну

ДО АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ВЕЛИЧИНУ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПІД ЧАС ПУСКУ

Мета. Удосконалення методу аналізу впливу параметрів в'язальної машини на величину динамічних навантажень, що виникають під час пуску.

Методика. Використані сучасні методи досліджень динаміки механічних систем з метою оцінки впливу параметрів в'язальної машини на пускові динамічні навантаження.

Результати. На основі існуючих аналітичних методів динамічного аналізу багатомасових механічних систем з пружними в'язями розроблено метод аналізу, за допомогою якого значно простіше розрахунковим шляхом можливо знайти динамічні навантаження, що виникають у в'язальних машинах під час пуску та проаналізувати вплив параметрів машини на величину цих навантажень. На прикладі круглов'язальної машини КО-2 проаналізовано вплив її параметрів на максимальні динамічні навантаження, що виникають в пружних в'язях привода під час пуску. Встановлено, що найбільш ефективним рішенням зниження динамічних навантажень в круглов'язальних машинах типу КО може служити зниження пускового моменту електродвигуна та збільшення моменту інерції ведучої маси привода машини.

Наукова новизна. Розвиток наукових основ та інженерних методів проектування в'язальних машин.

Практична значимість. Розробка інженерного методу аналізу впливу параметрів в'язальної машини на величину динамічних навантажень, що виникають під час пуску.

Ключові слова: в'язальна машина, динамічні навантаження в'язальної машини, вплив параметрів в'язальної машини на динамічні навантаження.

Вступ. Специфікою роботи в'язальних машин є досить часті зупинки і, відповідно, пуски (кількість зупинок, наприклад, круглов'язальних машин типу КО за зміну в окремих випадках перевищує 200 [1]), що зумовлює значні динамічні навантаження привода та інших механізмів машин. При цьому динамічні навантаження в 3 і більше разів перевищують статичні навантаження [2-4], що є однією з основних причин зниження довговічності роботи в'язальних машин та якості продукції.

Тому проблема підвищення надійності та довговічності роботи в'язальних машин шляхом зниження динамічних навантажень є актуальною та своєчасною. Виходячи з цього, при проектуванні в'язальних машин особливу увагу слід приділяти аналізу впливу параметрів машин на величину динамічних навантажень.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи в'язальних машин шляхом зниження динамічних навантажень, завданням досліджень є удосконалення методу аналізу впливу параметрів в'язальної машини на динамічні навантаження, що виникають під час пуску.

Результати дослідження.

Одним із важливих питань, що виникають при дослідженні динаміки в'язальних машин та розв'язання проблеми зниження динамічних навантажень є аналіз впливу

параметрів машини на величину пускових динамічних навантажень. Особливо важливим є дане питання при модернізації діючих та розробці нових конструкцій в'язальних машин.

Знаходження динамічних навантажень в лініях передач привода механічних систем може бути виконано аналітично з використанням методів, представлених в монографіях [2-6].

Однак, розв'язання задач динаміки в'язальних машин з використанням наведених методів являє собою трудомісткий процес. Ще складніше проаналізувати вплив окремих параметрів машини ($T_1, T_2, T_3, J_1, J_2, J_3, C_{12}, C_{23}$ та ін.) на величину динамічних навантажень. Тому при вирішенні поставленої задачі доцільно використовувати ЕОМ (ПК). Особливу увагу в цьому випадку слід приділяти відпрацюванню правильної математичної формулювання інженерної задачі, розробці програми розрахунку, контролю та аналізу одержаних результатів.

Пуск в'язальних машин, динамічна модель яких представлена у вигляді трирядної системи, як видно із досліджень [2-4], здійснюється в три етапи, що характеризуються рівняннями:

$$\text{1-й етап пуску:} \quad \ddot{T}_{12} = -\frac{C_{12}}{J_1} T_{12} + \frac{C_{12}}{J_1} T_1. \quad (1)$$

$$\text{2-й етап пуску:} \quad \ddot{T}_{12} = -C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} T_{12} + \frac{C_{12}}{J_2} T_{23} + C_{12} \left(\frac{T_1}{J_1} + \frac{T_2}{J_2} \right); \quad (2)$$

$$\ddot{T}_{23} = \frac{C_{23}}{J_2} T_{12} - \frac{C_{23}}{J_2} T_{23} - \frac{C_{23}}{J_2} T_2. \quad (3)$$

$$\text{3-й етап пуску:} \quad \ddot{T}_{12} = -C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} T_{12} + \frac{C_{12}}{J_2} T_{23} + C_{12} \left(\frac{T_1}{J_1} + \frac{T_2}{J_2} \right); \quad (4)$$

$$\ddot{T}_{23} = -C_{23} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3} T_{23} + \frac{C_{23}}{J_2} T_{12} - C_{23} \left(\frac{T_2}{J_2} - \frac{T_3}{J_3} \right). \quad (5)$$

Для розв'язання цих рівнянь на ЕОМ необхідно їх привести до системи першого порядку. Але таке приведення збільшує число машинних операцій і, як правило, знижує точність рішення. Тому рекомендується наступний простий прийом, показаний на прикладі рішення системи рівнянь (4), (5) третього етапу пуску машини.

$$\text{Позначивши} \quad C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} = A_1^2; \quad \frac{C_{12}}{J_2} = B_1; \quad C_{12} \left(\frac{T_1}{J_1} + \frac{T_2}{J_2} \right) = C_1;$$

$$C_{23} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3} = A_2^2; \quad \frac{C_{23}}{J_2} = B_2; \quad -C_{23} \left(\frac{T_2}{J_2} - \frac{T_3}{J_3} \right) = C_2, \quad (6)$$

$$\text{можемо одержати:} \quad \ddot{T}_{12} = -A_1^2 T_{12} + B_1 T_{23} + C_1; \quad (7)$$

$$\ddot{T}_{23} = -A_2^2 T_{23} + B_2 T_{12} - C_2. \quad (8)$$

Розглянемо деякий довільний момент часу t_n , для якого будемо припускати відомі значення координат $T_{12}(t_n) = T_{12}^n$; $T_{23}(t_n) = T_{23}^n$ та їх похідних $\dot{T}_{12}(t_n) = \dot{T}_{12}^n$; $\dot{T}_{23}(t_n) = \dot{T}_{23}^n$.

Припускаючи, що рішення системи рівнянь (7), (8) починається з моменту t_n , перепишемо рівняння (7), (8) в зображеннях по Лапласу [7]:

$$PT_{12}(P) - PT_{12}^n - T_{12}^n = -A_1^2 T_{12}(P) + B_1 T_{23}(P) + \frac{C_1}{P},$$

або
$$(P^2 + A_1^2) T_{12}(P) = B_1 T_{23}(P) + \left(\frac{C_1}{P}\right) + PT_{12}^n + T_{12}^n. \quad (9)$$

Аналогічно знаходимо:

$$(P^2 + A_2^2) T_{23}(P) = B_2 T_{12}(P) + \left(\frac{C_1}{P}\right) + PT_{23}^n + T_{23}^n. \quad (10)$$

Тут $T_{12}(P)$ і $T_{23}(P)$ - зображення по Лапласу відповідних координат (моментів сил пружності T_{12} і T_{23}).

Далі обмежимося розглядом тільки одного рівняння системи, наприклад рівняння (9), оскільки виконані нижче перетворення аналогічно можуть бути перенесені і на рівняння (10).

Розв'язуючи рівняння (9) відносно зображення $T_{12}(P)$, знаходимо:

$$T_{12}(P) = B_1 \frac{T_{23}(P)}{P^2 + A_1^2} + C_1 \frac{1}{P(P^2 + A_1^2)} + \frac{P}{P^2 + A_1^2} T_{12}^n + \frac{1}{P^2 + A_1^2} T_{12}^n. \quad (11)$$

При відліку t від нуля:
$$\frac{1}{P^2 + A_1^2} \Rightarrow \frac{1}{A_1} \sin A_1 t. \quad (12)$$

Для нашого випадку, при відліку від t_n :

$$\frac{1}{P^2 + A_1^2} \Rightarrow \frac{1}{A_1} \sin A_1(t - t_n); \quad (13)$$

$$\frac{1}{P(P^2 + A_1^2)} \Rightarrow \frac{1}{A_1^2} [1 - \cos A_1(t - t_n)]; \quad (14)$$

$$\frac{P}{P^2 + A_1^2} \Rightarrow \frac{1}{A_1} \cos A_1(t - t_n). \quad (15)$$

Використовуючи теорему [7]:
$$F_1(P)F_2(P) \Rightarrow \int_0^t f_1(t - \tau) f_2(\tau) d\tau, \quad (16)$$

одержуємо:
$$B_1 \frac{T_{23}(P)}{P^2 + A_1^2} = T_{23}(P) \frac{B_1}{P^2 + A_1^2} \Rightarrow \int_{t_n}^t \frac{B_1}{A_1} T_{23}(t - t_n - \tau) \sin(\tau - t_n) d\tau. \quad (17)$$

З урахуванням (12)...(17) рівняння (11) прийме вид, переходячи в область часу:

$$T_{12}(t) = \frac{B_1}{A_1} \int_{t_n}^t T_{23}(t-t_n-\tau) \sin A_1(\tau-t_n) d\tau + \frac{C_1}{A_1^2} [1 - \cos A_1(t-t_n)] + T_{12}^n \cos A_1(t-t_n) + \frac{T_{12}^n}{A_1} \sin A_1(t-t_n). \quad (18)$$

Для $t = t_{n+1}$ (доволі близький до t_n момент часу) можна при обчисленні інтеграла скористатись теоремою про середнє, а тригонометричні функції замінити відповідними рядами. Припускаючи, що на інтервалі $\Delta t = t_{n+1} - t_n$ момент $T_{23}(t)$ не залежить від часу і в середньому може бути прийнятим рівним

$$T_{23}(t-t_{n+1}-\tau) = \frac{1}{2}(T_{23}^{n+1} + T_{23}^n), \quad (19)$$

після інтегрування, розкладу в ряд тригонометричних функцій і залишення членів ряду аж до другого порядку малості одержимо:

$$\begin{aligned} \int_{t_n}^{t_{n+1}} T_{23}(t-t_n-\tau) \sin A_1(\tau-t_n) d\tau &= \frac{1}{2}(T_{23}^{n+1} + T_{23}^n) \cdot \int_{t_n}^{t_{n+1}} \sin A_1(\tau-t_n) d\tau = \\ &= \frac{1}{2}(T_{23}^{n+1} + T_{23}^n) \frac{(-1)}{A_1} \cos A_1(\tau-t_n) \Big|_{t_n}^{t_{n+1}} = \frac{1}{2}(T_{23}^{n+1} + T_{23}^n) \frac{(-1)}{A_1} (\cos A_1 \Delta t - 1) = \\ &= \frac{1}{2}(T_{23}^{n+1} + T_{23}^n) \frac{(-1)}{A_1} \left(-\frac{A_1^2 \Delta t^2}{2} \right) = \frac{1}{4}(T_{23}^{n+1} + T_{23}^n) A_1 \Delta t^2. \end{aligned} \quad (20)$$

Тоді: $T_{12}(t) = \frac{B_1 \Delta t^2}{4} (T_{23}^{n+1} + T_{23}^n) + \frac{C_1}{A_1^2} \left(1 - 1 + \frac{A_1^2 \Delta t^2}{2} \right) + T_{12}^n \left(1 - \frac{A_1^2 \Delta t^2}{2} \right) + \frac{T_{12}^n}{A_1} A_1 \Delta t,$

або $T_{12}^{n+1} = \frac{B_1 \Delta t^2}{4} (T_{23}^{n+1} + T_{23}^n) + \frac{C_1 \Delta t^2}{2} + T_{12}^n \left(1 - \frac{A_1 \Delta t^2}{2} \right) + \dot{T}_{12}^n. \quad (21)$

При малому Δt похідну по часу \dot{T}_{12}^n можна замінити відповідною різницею

$$\dot{T}_{12}^n \Delta t \approx T_{12}^n - T_{12}^{n-1}. \quad (22)$$

Тоді можна одержати:

$$T_{12}^{n+1} - \frac{B_1 \Delta t^2}{4} T_{23}^{n+1} = \left(2 - \frac{A_1^2 \Delta t^2}{2} \right) T_{12}^n - T_{12}^{n-1} + \frac{B_1 \Delta t^2}{4} T_{23}^n + \frac{C_1 \Delta t^2}{2}. \quad (23)$$

Аналогічно для рівняння (5):

$$T_{23}^{n+1} - \frac{B_2 \Delta t^2}{4} T_{12}^{n+1} = \left(2 - \frac{A_2^2 \Delta t^2}{2} \right) T_{23}^n - T_{23}^{n-1} + \frac{B_2 \Delta t^2}{4} T_{12}^n + \frac{C_2 \Delta t^2}{2}. \quad (24)$$

Зберігаючи члени другого порядку малості, знаходимо:

$$T_{12}^{n+1} = \left(2 - \frac{A_1^2 \Delta t^2}{2}\right) T_{12}^n - T_{12}^{n-1} + 3 \frac{B_1 \Delta t^2}{4} T_{23}^n - \frac{B_1 \Delta t^2}{4} T_{23}^{n-1} + \frac{C_1 \Delta t^2}{2}; \quad (25)$$

$$T_{23}^{n+1} = \left(2 - \frac{A_2^2 \Delta t^2}{2}\right) T_{23}^n - T_{23}^{n-1} + 3 \frac{B_2 \Delta t^2}{4} T_{12}^n - \frac{B_2 \Delta t^2}{4} T_{12}^{n-1} + \frac{C_2 \Delta t^2}{2}. \quad (26)$$

Одержана система рівнянь (25), (26), які характеризують пуск в'язальної машини може бути вирішена чисельно на ЕОМ. Вибір інтервалу Δt (кроку інтегрування) в цьому випадку визначається величиною відкинутих членів в розкладаннях тригонометричних функцій.

Оскільки самий низький порядок відкинутих членів дорівнює трьом, то вибір кроку інтегрування необхідно підкорити умові:

$$i^{max}(A_i \Delta t)^3 \ll 1, \quad (i = 1, 2). \quad (27)$$

Виконані розрахунки дали хороші результати при

$$\Delta t \approx \frac{0,5}{i^{max}(A_i)}, \quad (i = 1, 2). \quad (28)$$

Використовуючи запропонований метод, авторами за допомогою ПК було проаналізовано вплив параметрів в'язальної машини на динамічні навантаження, що виникають під час пуску, на прикладі круглов'язальної машини КО-2.

При рішенні даного питання, враховуючи конструктивні особливості машини КО-2 та перспективи її модернізації, варіювання параметрів машини здійснювалось в межах: $T_1 = (20 \dots 100) \text{ Нм}$; $\Delta T_1 = 10 \text{ Нм}$; $T_2 = (2 \dots 20) \text{ Нм}$; $\Delta T_2 = 2 \text{ Нм}$; $T_3 = (5 \dots 40) \text{ Нм}$; $\Delta T_3 = 5 \text{ Нм}$; $J_1 = (0,01 \dots 0,1) \text{ кгм}^2$; $\Delta J_1 = 0,01 \text{ кгм}^2$; $J_2 = (0,01 \dots 0,1) \text{ кгм}^2$; $\Delta J_2 = 0,01 \text{ кгм}^2$; $J_3 = (0,01 \dots 0,1) \text{ кгм}^2$; $\Delta J_3 = 0,01 \text{ кгм}^2$; $C_{12} = (200 \dots 5000) \text{ Нм/рад}$; $\Delta C_{12} = 200 \text{ Нм/рад}$; $C_{23} = (500 \dots 10000) \text{ Нм/рад}$; $\Delta C_{23} = 500 \text{ Нм/рад}$.

Висновки. Аналіз держаних результатів показує наступне:

1. Величина пускового моменту електродвигуна T_1 суттєво впливає на динамічні навантаження. Збільшення T_1 різко підвищує величину динамічних навантажень в круглов'язальній машині.

2. Збільшення моменту сил опору товароприйомного механізму T_2 практично не впливає на величину динамічних навантажень.

3. Збільшення моменту сил опору механізму в'язання T_3 призводить до незначного збільшення динамічних навантажень в лініях передач C_{12} і C_{23} . При цьому більш помітний вплив моменту T_3 на динамічні навантаження спостерігається в лінії передач привода C_{23} .

4. Збільшення моменту інерції ведучої маси J_1 сприятливо позначається на зниженні динамічних навантажень.

5. Збільшення моменту інерції товароприйомного механізму J_2 підвищує динамічні навантаження в першій в'язі привода C_{12} і дещо знижує навантаження в в'язі C_{23} .

6. Зміна моменту інерції механізму в'язання J_3 несуттєво впливає на динамічні навантаження в пружній в'язі C_{12} і суттєво позначається на величині динамічних навантажень в пружній в'язі C_{23} .

7. Зміна жорсткості пружних в'язей C_{12} і C_{23} в прийнятих межах практично не впливає на динамічні навантаження.

Таким чином, найбільш ефективним рішенням зниження динамічних навантажень в круглов'язальних машинах типу КО може служити зниження пускового моменту електродвигуна та збільшення моменту інерції ведучої маси привода машини.

Список використаної літератури

1. Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Павленко Г.І. Наукові основи проектування та удосконалення систем гальмування круглов'язальних машин. – К: КНУТД, 2003. – 208 с.
2. Піпа 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., Піпа Б.Ф. Динаміка основов'язальних машин. – К.: КНУТД, 2012 - 287 с.
5. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах. – К.: Наукова думка, 1986. – 288 с.
6. Голубенцев А.Н. Интегральные методы в динамике. - К.: Техніка, 1967. - 352 с.
7. Корт Г., Корт Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1968. – 676 с.

К АНАЛИЗУ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЯЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ВЕЛИЧИНУ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПУСКЕ

ПИПА Б.Ф., ЧАБАН В.В., МУЗЫЧИШИН С.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Совершенствование метода анализа влияния параметров вязальной машины на величину динамических нагрузок, возникающих при пуске.

Методика. Используются современные методы исследований динамики механических систем с целью оценки влияния параметров вязальной машины на пусковые динамические нагрузки.

Результаты. На основе существующих аналитических методов динамического анализа многомассовых механических систем с упругими связями разработан метод анализа, с помощью которого значительно проще расчетным путем можно определить динамические нагрузки, возникающие в вязальных машинах при пуске и проанализировать влияние параметров машины на величину этих нагрузок. На примере кругловязальной машины КО-2 проанализировано влияние ее параметров на максимальные динамические нагрузки, возникающие в упругих связях привода при пуске. Установлено, что наиболее эффективным решением снижения динамических нагрузок в кругловязальных машинах типа КО может

служить снижению пускового момента электродвигателя и увеличения момента инерции ведущей массы привода машины.

Научная новизна. Развитие научных основ и инженерных методов проектирования вязальных машин.

Практическая значимость. Разработка инженерного метода анализа влияния параметров вязальной машины на величину динамических нагрузок, возникающих при пуске.

Ключевые слова: вязальная машина, динамические нагрузки вязальной машины, влияние параметров вязальной машины на динамические нагрузки.

TO THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS KNITTING MACHINES ON THE VALUE OF THE DYNAMIC LOADS ARISING IN STARTING

PIPA B.F., CHABAN V.V., MUSITHISEN S.W.

Kiev National University of Technology and Design

Purpose. Improvement of the method of analysis of influence of parameters on the value of the knitting machine dynamic loads encountered during start-up.

Methodology. Modern methods of research of mechanical systems in order to assess the influence of parameters on the knitting machine launchers dynamic loads.

Findings. Based on current analytical methods of dynamic mechanical analysis of multibody systems with elastic connections developed method of analysis which is considerably simpler calculation can be determined by dynamic forces arising when knitting machines start to analyze the impact and machine parameters on the magnitude of these loads. On the example of the circular machine KO-2 analyzed the influence of its parameters on the maximum dynamic loads encountered in elastic ties drive at startup. Found that the most effective solution to reduce the dynamic loads in circular knitting machines such as KO may be a drop in the starting torque of the electric motor and an increase in the mass moment of inertia of the leading machine drive.

Originality. Development of scientific principles and methods of engineering design knitting machines.

Practical value. Development of engineering analysis method parameters influence the knitting machine by the amount of dynamic loads encountered during start-up.

Keywords: *knitting machine, knitting machine dynamic loads, impact parameters knitting machine to dynamic loads.*