

# Моделювання динаміки пуску верстата

Л.Ф. Дзюба

кафедра прикладної математики і механіки  
Львівський державний університет безпеки  
життєдіяльності  
Львів, Україна  
lidadz111@gmail.com

О.В. Меньшикова

кафедра прикладної математики і механіки  
Львівський державний університет безпеки  
життєдіяльності  
Львів, Україна  
helga.menshikowa@gmail.com

М.І. Кусій

кафедра прикладної математики і механіки  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
Львів, Україна

## Modeling of machine start dynamic process

L. Dzuba

Department of Applied Mathematics and Mechanics,  
Lviv State University of Life Safety  
Lviv, Ukraine  
lidadz111@gmail.com

O. Menshykova

Department of Applied Mathematics and Mechanics,  
Lviv State University of Life Safety  
Lviv, Ukraine  
helga.menshikowa@yandex.ua

M. Kusiy

Department of Applied Mathematics and Mechanics,  
Lviv State University of Life Safety  
Lviv, Ukraine  
kusijmiroslava@gmail.com

**Анотація**—Виконано математичне моделювання динамічного процесу під час вмикання механізму різання горизонтального стрічковопилкового верстата. Виникаючі коливання моделюються з урахуванням електромагнітних процесів у двигуні та коливальних процесів в еквівалентній пружній системі механізму різання. Сумісний розв'язок системи диференціальних рівнянь крутих коливань пружної системи механізму різання та диференціальних рівнянь електромагнітного стану двигуна виконаний методом Ейлера у середовищі Maple V.

**Abstract**—Mathematical modeling of the dynamic process during the horizontal band saw machine cutting mechanism turning has been completed. The resulting vibrations are modeled on the basis of electromagnetic processes in the engine and oscillatory processes in the cutting mechanism equivalent elastic system. Compatible solution of the cutting mechanism twisting vibration differential equations system and the engine's electromagnetic state differential equations are made in the environment by Euler's method.

**Ключові слова**—*перехідний процес, крутильні коливання, механізм різання, електромагнітний стан двигуна*

**Keywords**—*transitional process, torsional vibrations, cutting mechanism, electromagnetic condition of the engine*

Динамічні навантаження на елементи конструкцій під час вмикання двигунів досліджують переважно з використанням зведених двомасових моделей [1]. Однак особливості конструкцій деяких механізмів потребує побудови моделей з більшою кількістю зведених мас. Оскільки в механізмі різання горизонтального стрічковопилкового верстату обертальні маси розміщені на трьох валах, а стрічкова пилка є водночас і тяговою ланкою, і пиляльним інструментом, то в розрахунковій моделі її доцільно виділити як окрему пружну ланку (рис.1). Така розрахункова схема механізму різання дозволяє встановити додаткове динамічне навантаження на інструмент під час пуску верстата з урахуванням взаємодії складників пружної системи верстата: електродвигуна, механізмів передавання та пиляльного інструменту. Тому метою цієї роботи є моделювання динамічних процесів у приводі механізму різання горизонтального стрічковопилкового верстата під час його вмикання.

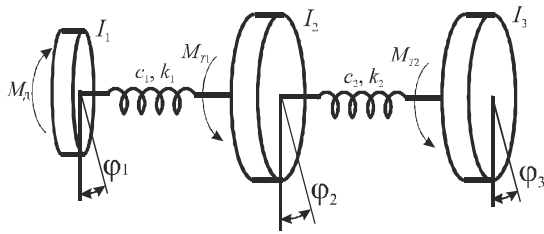


Рис. 1. Розрахункова схема механізму різання стрічковопилкового верстату

Складені на підставі рівнянь Лагранжа другого роду та подані у нормальному вигляді Коші диференціальні рівняння малих коливань еквівалентної пружної системи механізму різання відповідно до розрахункової схеми мають вигляд:

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{d\varphi_1}{dt}; \omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt}; \omega_3 = \frac{d\varphi_3}{dt} \\ \frac{d\omega_1}{dt} = -\frac{k_1}{I_1}(\omega_1 - \omega_2) - \frac{c_1}{I_1}(\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{M_{Д}(t)}{I_1}; \\ \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{k_1}{I_2}(\omega_1 - \omega_2) - \frac{k_2}{I_2}(\omega_2 - \omega_3) + \\ + \frac{c_1}{I_2}(\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{c_2}{I_2}(\varphi_2 - \varphi_3) - \frac{M_{T1}}{I_2}; \\ \frac{d\omega_3}{dt} = \frac{k_2}{I_3}(\omega_2 - \omega_3) + \frac{c_2}{I_3}(\varphi_2 - \varphi_3) - \frac{M_{T2}}{I_3}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $I_1, I_2, I_3$  – зведені до вала електродвигуна моменти інерції обертальних мас,  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – узагальнені координати, якими є кути повороту відповідних зведених мас;  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  – узагальнені кутові швидкості відповідних мас,  $k_1, k_2, c_1, c_2$  – зведені коефіцієнти в'язкого опору та жорсткості пружних ланок;  $M_{T1}, M_{T2}$  – зведені моменти сил опору, зумовлені тертям у підшипниках валів;  $M_{Д}(t) = \frac{3}{2} p_0 L_m (i_{rx} i_{sy} - i_{ry} i_{sx})$  – електромагнітний момент двигуна,  $p_0$  – число пар магнітних полюсів двигуна,  $L_m$  – робоча індуктивність двигуна,  $i_{rx}, i_{ry}, i_{sx}, i_{sy}$  – проекції струмів ротора (індекс  $r$ ) та статора (індекс  $s$ ) на координатні осі  $x, y$ . Для визначення струмів статора та ротора використовують рівняння електромагнітного стану машини

$$\begin{cases} \frac{di_s}{dt} = A_s(u_s + \Omega_s \Psi_s - R_s i_s) + B_s(\Omega_r \Psi_r - R_r i_r); \\ \frac{di_r}{dt} = A_r(\Omega_r \Psi_r - R_r i_r) + B_r(u_s + \Omega_s \Psi_s - R_s i_s), \end{cases} \quad (3)$$

де  $i_s, i_r, u_s$  – матриці-колонки струмів і напруг;  $A_s, B_s, A_r, B_r$  – квадратні матриці зв'язку;  $\Omega_s, \Omega_r$  – матриці частот обертання;  $\Psi_s, \Psi_r$  – матриці

потокозчеплень;  $R_s, R_r$  – активні опори. Для обчислення вказаних параметрів за методикою [2] використовують технічні характеристики електродвигуна.

Системи диференціальних рівнянь (1), (3) повністю описують динамічний стан електромеханічної системи механізму різання горизонтального стрічковопилкового верстату.

Для сумісного розв'язку систем диференціальних рівнянь (1), (3) з урахуванням (2) прийняті нульові початкові умови:  $i_{rx}(0) = 0, i_{ry}(0) = 0, i_{sx}(0) = 0, i_{sy}(0) = 0, \omega_1(0) = 0, \omega_2(0) = 0, \omega_3(0) = 0, \varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = 0, \varphi_3(0) = 0$ .

Систему диференціальних рівнянь малих коливань пружної системи механізму різання стрічковопилкового верстату (1) розв'язано сумісно з рівняннями електромагнітного стану двигуна (3) методом Ейлера в середовищі Maple V. На рис. 2 показаний один з результатів моделювання перехідного процесу під час пуску механізму різання.

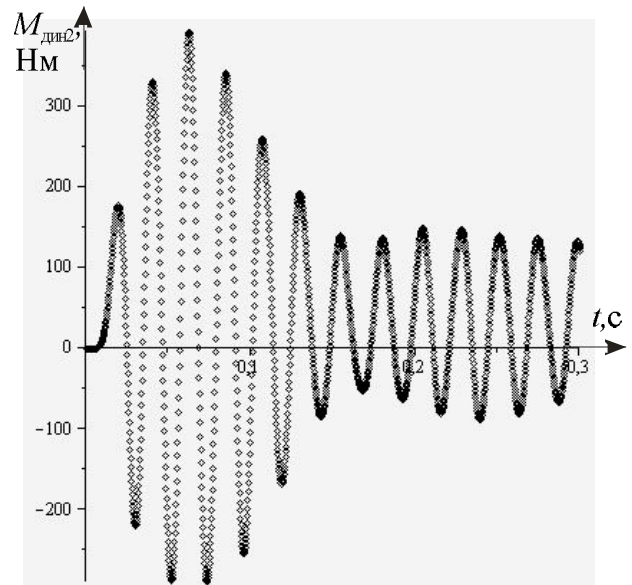


Рис. 2. Графік зміни моменту на другій пружній ланці

Встановлено, що динамічний момент під час пуску на другій пружній ланці перевищує у 8 раз обертальний момент, створюючи додаткове змінне навантаження на полотно стрічкової пилки. Таке навантаження викликає поперечні коливання полотна, які можуть бути резонансними, та зменшує довговічність інструмента.

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Електромеханічні системи автоматизованого керування та електроприводи: навч. посібник / [М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.]; за ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005, 680 с.
- [2] Е.В.Харченко Динамические процессы буровых установок, Львов: Свит, 1991, 176 с.