

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ПРИВОДІВ ЛІНІЙНИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

Національний університет «Львівська політехніка»

### Анотація

Запропоновано аналітичне визначення оптимального значення передаточного числа приводів лінійних мехатронних систем на базі зубчастої передачі та передачі гвинт-гайка.

**Ключові слова:** модуль лінійного переміщення, передаточне число, момент інерції, сила інерції, оптимізація.

### Вступ

Ефективність роботи робототехнічних комплексів може бути підвищена впровадженням мехатронних систем лінійного та обертального руху. Їх використовують для розширення рухових можливостей промислових роботів, переміщення заготовок, деталей і інструменту між технологічним обладнанням та промисловими роботами. У якості приводу в цих системах використовують серводвигуни, асинхронні приводи з зубчастими редукторами, механізми перетворення руху на базі пасових, рейкових передач та модульні компоненти на парі гвинт-гайка кочення. Такі системи працюють у високошвидкісних реверсивних режимах, а тому основна втрата потужності зумовлена силами інерції. Мінімізація цих сил можлива впровадженням енергоефективних принципів на етапі розрахунку [1]. Метою дослідження є аналітичний розрахунок оптимального передаточного числа приводів лінійних мехатронних систем та аналіз динаміки їх руху.

### Результати дослідження

Момент сил інерції рухомих мас, що діє на вал електродвигуна визначається за формулою:

$$M_i = J\varepsilon_1 = Ju\varepsilon_2, \quad (1)$$

де  $J$  – приведений до валу електродвигуна момент інерції рухомих мас;  $u$  – передаточне число проміжної (зубчастої чи зубчато-пасової) передачі;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – кутові пришвидшення;

$$J = J_d + J_{z1} + \frac{J_{z2}}{u^2} + \frac{mv^2}{\omega_1^2}, \quad (2)$$

де  $J_d, J_{z1}, J_{z2}$  – моменти інерції ротору електродвигуна та зубчастих коліс відповідно;  $m$  – маса каретки з навантаженням;  $v$  – швидкість каретки;  $\omega_1$  – кутова швидкість ротора електродвигуна.

У випадку використання в приводі перетворення обертального руху в поступальний передачі гвинт-гайка швидкість руху  $v$  каретки набуде вигляду:

$$v = \frac{\omega_1 hk}{u2\pi}, \quad (3)$$

де  $h$  – крок гвинтової канавки,  $k$  – кількість заходів (як правило,  $k = 1$ ).

Якщо відомо обмеження по граничному значенню пришвидшення руху каретки  $[a]$ , кутове пришвидшення  $\varepsilon_2$  гвинта буде визначатися за формулою:

$$\varepsilon_2 = \frac{2\pi[a]}{h}. \quad (4)$$

Використовуючи у формулі (1) відповідно (2)–(4), отримаємо функціональну залежність  $M_i = f(u)$ , графік якої представлено на рис. 1 для наступних числових значень параметрів

механічної системи:  $J_d = 0,002 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $J_{z1} = 0,7\cdot 10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $J_{z2} = 1,12\cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $\omega_1 = 314 \text{ с}^{-1}$ ,  $[a] = 20 \text{ м/с}^2$ ,  $m = 200 \text{ кг}$ ,  $h = 25\cdot 10^{-3} \text{ м}$ . На графіку спостерігається наявність мінімуму моменту інерційних сил, що розкриває можливості вибору оптимальних значень передаточних чисел в приводах лінійних систем.

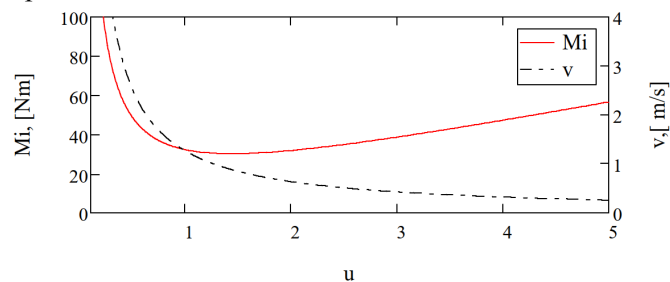


Рис. 2. Залежність моменту інерційних сил та швидкості каретки від передаточного числа

З умови  $\frac{\partial M_i}{\partial u} = 0$  отримано формулу для розрахунку оптимального значення передаточного числа  $u_{opt}$ , що забезпечує мінімальне значення моменту сил інерції  $M_i \rightarrow \min$ :

$$u_{opt} = \frac{\sqrt{mh^2 + 4\pi^2 J_{z2}}}{2\pi\sqrt{J_d + J_{z1}}}. \quad (5)$$

Для наведених параметрів механічної системи оптимальне значення передаточного числа становить  $u_{opt} = 1,44$ . За прийнятими значеннями передаточного числа вибираються геометричні параметри зубчастої чи зубчато-пасової передачі. На наступному етапі потрібно визначити реальні значення моментів інерції  $J_{z1}$  і  $J_{z2}$  та уточнити значення передаточного числа за формулою (5). Запропонований підхід розкриває більш широкі можливості оптимізації параметрів приводу з обмеженнями на кінематичні характеристики лінійних мехатронних систем.

### Висновки

Формула (5) визначає енергоощадність конструкції розрахунком передаточного числа проміжної передачі між електродвигуном та гвинтом за масово-інерційними характеристиками механічної системи та конструктивними параметрами передачі гвинт-гайка. У випадку, коли в процесі оптимізації використано більші значення кроку гвинта рекомендовано використовувати прецизійні сплайн-гвинти [2].

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Boscariol, P., & Richiede, D. (2024). Revisiting the inertia matching condition for energy efficiency. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 52(10), 7430–7444. <https://doi.org/10.1080/15397734.2023.2299312>.
2. [https://tech.thk.com/en/products/pdf/en\\_a15\\_246.pdf](https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a15_246.pdf).

**Дишев Олександр Андрійович** — аспірант 2-го року навчання кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [oleksandr.a.dyshev@lpnu.ua](mailto:oleksandr.a.dyshev@lpnu.ua).

**Гурський Володимир Миколайович** — д-р техн. наук, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [vol.gursky@gmail.com](mailto:vol.gursky@gmail.com).

**Магерус Надія Іванівна** — канд. техн. наук, доцентка кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: [maherusn@gmail.com](mailto:maherusn@gmail.com).

### *Determination of the optimal transmission ratio of linear mechatronic systems drives*

#### **Abstract**

*An analytical method for determining the optimal gear ratio for the drives of linear mechatronic systems,*

*based on gear and screw transmissions, is proposed.*

**Keywords:** linear guide, gear ratio, moment of inertia, inertial force, optimization.

***Dyshev Oleksander A.*** — PhD student at the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: oleksandr.a.dyshev@lpnu.ua.

***Gurskyi Volodymyr M.*** — Dr. of Engineering, Professor of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: vol.gursky@gmail.com.

***Maherus Nadiia I.*** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: maherusn@gmail.com.