

## Дослідження зміни енерговитрат в шарнірно-зчленованій системі дволанкового маніпулятора будівельного робота

Ярослав Коробенко, аспірант<sup>1</sup> (ORCID: 0009-0002-3130-7198),  
 Дмитро Мішук, к.т.н., доцент, доцент<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-8263-9400)

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, 03037, проспект Повітряних Сил 31, Україна

### АНОТАЦІЯ

В процесі переміщення вантажів стріловим маніпулятором будівельного робота в його приводних механізмах виникають значні розбіжності в енерговитратах. Це пов'язано з можливостями накопиченням енергії механічними системами маніпуляторів внаслідок нерівномірності динаміки їхньої роботи. При роботі маніпулятора також змінюється конфігурація його стрілової системи, що впливає на зміну моментів інерції механічної системи стріли, а отже зміну енерговитрат. В даному дослідженні розглянуто закономірності зміни енерговитрат в стріловій системі дволанкового маніпулятора будівельного робота. Енерговитрати в стріловій системі пропонується розраховувати через добуток рушійного моменту та кутової швидкості рухомих ланок, які є складовими елементами стріли маніпулятора. Рушійний момент приводу ланок маніпулятора запропоновано визначати на основі рівнянь Лагранжа 2-го роду, а кутову швидкість рухомих ланок – через похідну від узагальнених координат стріли.

*Ключові слова:* маніпулятор, стрілова система, енерговитрати, шарнірно-зчленована система, дослідження.

### 1. ВСТУП

При роботі механічної системи стріли маніпулятора відбувається почергова зміна режимів його руху з підймання та опускання вантажу. При підйманні вантажів витрачається значно більше енергії ніж при опусканні. Така нерівномірність енерговитрат значно знижує ефективність роботи приводних механізмів маніпулятора [1, 2].

Як відомо, потужність механічної системи визначається, як добуток рушійного моменту та кутової швидкості [3]. З досліджень багатьох авторів також відомо, що рушійний момент приводу може бути оптимізовано за критеріями, які дозволяють якісно знизити надлишкові динамічні навантаження, а кутова швидкість може бути програмно відтворено за плавним характером руху [4, 5].

Все це дає підстави стверджувати, що енерговитрати в стріловій системі маніпулятора можуть бути знижені, якщо застосовувати оптимізовані режими руху стрілової системи.

В даному дослідженні пропонується розглянути закономірності зміни потужності в приводних механізмах дволанкового маніпулятора для їхнього подальшого аналізу.

### 2. МЕТА РОБОТИ

Розробка математичної моделі дволанкової шарнірно-зчленованої стрілової системи маніпулятора для виконання досліджень з визначення енерговитрат в приводних механізмах.

### 3. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розглянемо шарнірно-зчленовану стрілову систему маніпулятора з кутовою системою координат (див. Рис. 1). Стріла маніпулятора складається з балки 1 довжиною  $l_1$ , яка здійснює поворот навколо точки  $O$  та балки 2 довжиною  $l_2$ , яка виконує складний просторовий рух. В подальшому вважатиметься, що ланка 2 обертається навколо власної точки симетрії, яка в свою чергу також здійснює лінійне

переміщення на площині. Центри мас кожної з рухомих ланок зосереджено в їхніх геометричних центрах та позначено  $m_1$  і  $m_2$ , відповідно. За узагальнені координати для розглядуваної системи маніпулятора прийнято кути повороту  $\alpha$  та  $\beta$ .

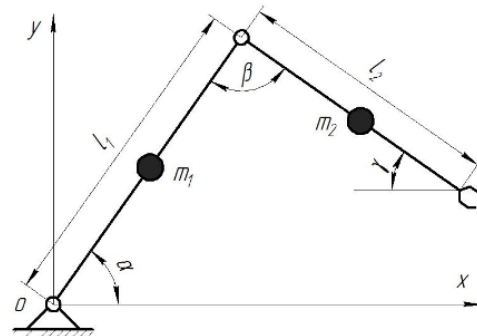


Рисунок 1. Кінематична схема дволанкової шарнірно-зчленованої стрілової системи маніпулятора

З рівнянь Лагранжа 2-го роду визначено функції для розрахунку рушійних моментів приводу, зокрема:

$$M_1 = \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} - \frac{\partial T}{\partial \alpha} + m_1 g \frac{y_1}{\partial \alpha} + m_2 g \frac{y_2}{\partial \alpha}, \quad (1)$$

$$M_2 = \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} - \frac{\partial T}{\partial \beta} + m_1 g \frac{y_1}{\partial \beta} + m_2 g \frac{y_2}{\partial \beta}, \quad (2)$$

де  $T$  - кінетична енергія механічної системи.

Кінетична енергія дволанкової стріли дорівнюватиме:

$$T = \frac{1}{2} (J_{01} \dot{\alpha}^2 + J_{s2} \dot{\gamma}^2 + m_2 \dot{x}_2^2 + m_2 \dot{y}_2^2), \quad (3)$$

де  $\gamma = \pi - \alpha - \beta$ ;

$$x_2 = l_1 \cos \alpha + \frac{1}{2} l_2 \cos \gamma; \quad y_2 = l_1 \sin \alpha - \frac{1}{2} l_2 \sin \gamma.$$

Кутові швидкості рухомих ланок стріли визначимо через похідні від кутів їхнього повороту:

$$\omega_1 = \frac{d\alpha}{dt}; \quad (4)$$

$$\omega_2 = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{d\alpha}{dt} + \frac{d\beta}{dt}. \quad (5)$$

Потужність приводу на переміщення рухомих ланок стрілової системи маніпулятора буде дорівнювати:

- для ланки 1:

$$N_1 = M_1 \omega_1; \quad (6)$$

- для ланки 2:

$$N_2 = M_2 \omega_2. \quad (7)$$

На рис. 2 - 4 показано результати моделювання зміни кутів повороту стріли та витрат потужності для заданих типових режимів руху.

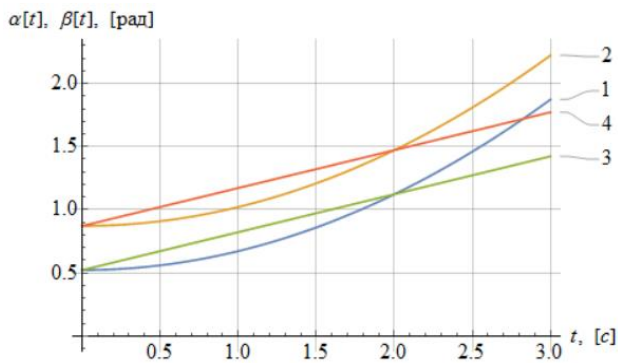


Рисунок 2. Графіки зміни кута поворот для різних режимів руху: 1, 3 – для кута  $\alpha$ ; 2, 4 – для кута  $\beta$ ; 1, 2 – для режиму руху, який визначається залежністю  $x_0 + 0,3t^2$ ; 3, 4 – для режиму руху, який визначається залежністю  $x_0 + 0,3t$ , де  $x_0$  – початкове значення кута

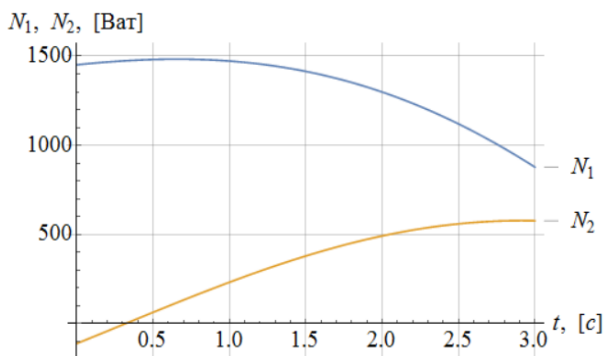


Рисунок 3. Графіки змін потужності приводу ланки 1 ( $N_1$ ) та ланки 2 ( $N_2$ ) для типового лінійного рівномірного режиму руху, який визначається виразом  $x_0 + 0,3t$

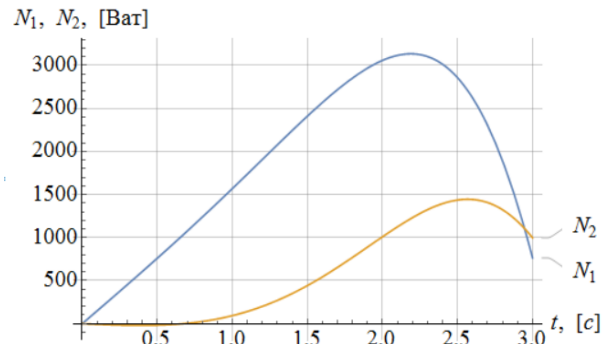


Рисунок 4. Графіки змін потужності приводу ланки 1 ( $N_1$ ) та ланки 2 ( $N_2$ ) для типового параболічного режиму руху, який визначається виразом  $x_0 + 0,3t^2$

#### 4. ВИСНОВКИ

Представлені результати дослідження показали, які зміна типових режимів руху ланок стріли маніпулятора впливає на зміни витрати потужності приводу.

#### Список літератури

- [1] Korobenko Y., Mishchuk D., Sankin I. Research of relationships between the technical parameters of industrial manipulators. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*. 2023. Vol. 102. P. 65–73. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.102.0502>.
- [2] Loveikin V., Mishchuk D. Optimal mode movement of the robot manipulator on an elastic base according to the criterion of the mean square value of the acceleration of the drive torque. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*. 2023. Vol. 101. P. 11–20. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.101.0201>.
- [3] Loveikin V. S., Romasevych Yu. O., Spodoba O. O., Loveikin A. V., Pochka K. I. Mathematical model of the dynamics change departure of the jib system manipulator with the simultaneous movement of its links. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2020. No. 104. P. 175-190. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.104.175-190>.
- [4] Loveykin V. S., Mishchuk D. O., Mishchuk Ye. O. Optimization of manipulator's motion mode on elastic base according to the criteria of the minimum central square value of drive torque. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2022. No. 109. P. 403-415. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.109.403-415>.
- [5] Mischuk D. O., Lovejkin V. S. Matematichne modelyuvannya zmini vilotu vantazhu manipulyatorom z gidroprivodom (Mathematical modeling of change of departure of cargo by the manipulator with the hydraulic drive). *Girnichy, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini*. 2012. No. 79. P. 9-15.