

УДК 621.86

Ловейкін В.С., докт. техн. наук, професор,

Національний університет біоресурсів і природокористування України, lovvs@ukr.net

Міщук Д.О., канд. техн. наук, доцент,

Міщук Є.О., канд. дехн. наук, доцент,

Київський національний університет будівництва і архітектури, mischuk.do@knuba.edu.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО РЕЖИМУ РУХУ ДВОЛАНКОВОГО МАНІПУЛЯТОРА ПО ПАРАБОЛІЧНІЙ ТРАЄКТОРІЇ

Гідравлічні маніпулятори мають великі перспективи в будівельному виробництві, так як дозволяють отримати великі робочі зусилля на своїх виконавчих пристроях у порівнянні із системами на пневматичному або електромеханічному приводі [1, 2]. Одним з недоліків гідравлічних маніпуляторів є їхня складна динамічна завантаженість, що призводить до виникнення в привідних елементах подібних систем додаткових динамічних зусиль. Компенсація таких навантажень виконується системою керування, яка працює не завжди адекватно на заданих умовах роботи маніпулятора [3]. Інша актуальна проблематика дослідження маніпуляторів пов'язана з розв'язками зворотної кінематичної задачі, зокрема в пошуку функції залежності координат положення виконавчих механізмів від координат захоплювача [4, 5]. В більшості відомих досліджень вивчається одна з описаних проблем маніпуляторів [6, 7] і майже не розглядається їх спільна синергетична взаємодія.

В даному дослідженні розглядається одна із оптимізаційних задач, де в якості цільової функції прийнято інтегральний критерій з підінтегральним виразом, який відображає енергію витрат механічної стрілової системи маніпулятора (див. рис. 1) з урахуванням обмежувальної функції траєкторії переміщення робочого органу маніпулятора по параболі. Для розв'язку даної задачі умовної оптимізації руху стріли маніпулятора з двома узагальненими незалежними координатами пропонується розглянути застосування прямого методу із заміною параметра та методом множників Лагранжа [8].

Методом множників Лагранжа досліджено оптимізаційну задачу оптимізації руху ланок дволанкового маніпулятора з цільовою функцією у вигляді “енергії” прискорень [3] та параболічної обмежувальної траєкторії переміщення робочого органу:

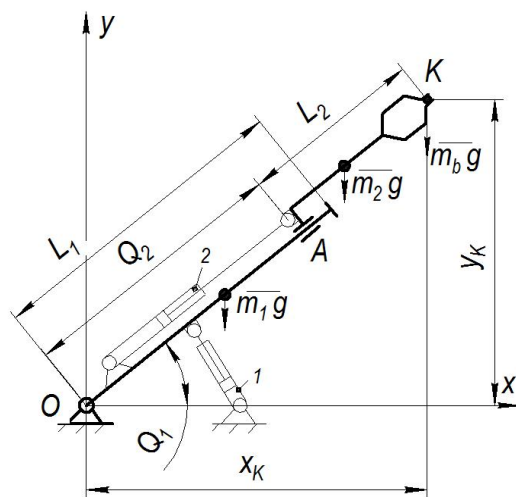


Рис. 1 – Кінематична схема дволанкового маніпулятора з однією кутовою та однією лінійною кінематичними параметрами

$$L = \frac{1}{2}(J_{OA} + J_{AK})\dot{Q}_1^2 + \frac{1}{2}m_2(\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) + \quad (1)$$

$$+ \frac{1}{2}m_b(\dot{x}_K^2 + \dot{y}_K^2) + \lambda(y_K - x_K^2) \rightarrow \min$$

Крайові умови руху для розглядуваного випадку можуть бути записані в наступному виді:

$$\begin{cases} Q_1(t_0) = Q_{in}, \dot{Q}_1(t_0) = 0; \\ Q_1(t_1) = Q_{ik}, \dot{Q}_1(t_1) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Екстремалами функціоналу (1) будуть інтегральні криві наступного рівняння Ейлера-Пуассона:

$$\left\{ \begin{aligned}
 &L_2 \lambda \cos Q_1 + L_2^2 \lambda \sin(2Q_1) - 2L_2(m_2 + 2m_b) \dot{Q}_1^3 \dot{Q}_2 + (2m_2 \dot{Q}_2^2 - \frac{3}{2} L_2^2 (m_2 + \\
 &+ 4m_b) \dot{Q}_1^2) \ddot{Q}_1 + (4L_2 m_2 + 6L_2 m_b) \ddot{Q}_1 \ddot{Q}_2 + 4L_2(m_2 + m_b) \dot{Q}_2 \ddot{Q}_1 + 2L_2(m_2 + \\
 &+ 2m_b) \dot{Q}_1 \ddot{Q}_2 + (\frac{1}{3} L_1^2 m_1 + \frac{7}{12} L_2^2 m_2 + L_2^2 m_b) \overset{IV}{Q}_1 + Q_2 (\lambda \cos Q_1 + \\
 &+ 2L_2 \lambda \sin(2Q_1) - 4(m_2 + m_b) \dot{Q}_1^3 \dot{Q}_2 - 6L_2(m_2 + 2m_b) \dot{Q}_1^2 \ddot{Q}_1 + 2(4m_2 + \\
 &+ 3m_b) \ddot{Q}_1 \ddot{Q}_2 + (8m_2 + 4m_b) \dot{Q}_2 \ddot{Q}_1 + 4(m_2 + m_b) \dot{Q}_1 \ddot{Q}_2 + \\
 &+ 2L_2(m_2 + m_b) \overset{IV}{Q}_1) + Q_2^2 (\lambda \sin(2Q_1) - 6(m_2 + m_b) \dot{Q}_1^2 \ddot{Q}_1 + (2m_2 + m_b) \overset{IV}{Q}_1) = 0; \\
 &- L_2 \lambda - L_2 \lambda \cos(2Q_1) + \lambda \sin Q_1 + \frac{1}{2} L_2(m_2 + 2m_b) \dot{Q}_1^4 - L_2(m_2 + 3m_b) \ddot{Q}_1^2 - \\
 &- 6(m_2 + m_b) \dot{Q}_1^2 \ddot{Q}_2 - 2\dot{Q}_1(6(m_2 + m_b) \dot{Q}_2 \ddot{Q}_1 + L_2(m_2 + 2m_b) \ddot{Q}_1) - Q_2(2\lambda \cos^2 Q_1 - \\
 &- (m_2 + m_b) \dot{Q}_1^4 + (2m_2 + 3m_b) \ddot{Q}_1^2 + 4(m_2 + m_b) \dot{Q}_1 \ddot{Q}_1) + (m_2 + m_b) \overset{IV}{Q}_2 = 0; \\
 &(L_2 + Q_2) \sin Q_1 - \cos^2 Q_1 (L_2 + Q_2)^2 = 0.
 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Коефіцієнт узгодження Лагранжа з рівняння (3) дорівнюватиме:

$$\lambda = \frac{1}{2(L_2 + L_2 \cos(2Q_1) + 2Q_2 \cos^2 Q_1 - \sin Q_1)} (L_2(m_2 + 2m_b) + 2(m_2 + m_b)Q_2) \dot{Q}_1^4 - \\
 - 24(m_2 + m_b) \dot{Q}_1 \dot{Q}_2 \ddot{Q}_1 - (2L_2 m_2 + 6L_2 m_b + 4m_2 Q_2 + 6m_b Q_2) \ddot{Q}_1^2 - 12(m_2 + m_b) \dot{Q}_1^2 \ddot{Q}_2 - \\
 - (4L_2 m_2 + 8L_2 m_b + 8Q_2 m_2 + 8Q_2 m_b) \dot{Q}_1 \ddot{Q}_1 - 2(m_2 + m_b) \overset{IV}{Q}_2).$$

Список посилань

1. Mishchuk D. The review and analysis of designs robots for construction works / D. Mishchuk // *Girnich, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*, – 2013. – No. 82, pp. 28-37.
2. Siciliano B. Robotics: Modelling, Planning and Control (Advanced Textbooks in Control and Signal Processing) (1st ed. 2009 ed.) / B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani & G. Oriolo // Springer. – 2008. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-642-1>.
3. Loveykin V.S. Optimizaciya rezhimu zmini vilotu manipulyatora z gidroprivodom. Monografiya / V.S. Loveykin, D.O. Mishchuk // Kyiv, – CP Komprint, – 2013. p. 206.
4. Blanchini F. A convex programming approach to the inverse kinematics problem for manipulators under constraints / F. Blanchini, G. Fenu, G. Giordano, F. Pellegrino // *European Journal of Control*, – 2017. – No. 33, pp. 11–23.
5. Jakubiak J. Motion planning in velocity affine mechanical systems / J. Jakubiak, K. Tchoń, W. Magiera // *International Journal of Control*, – 2010. – No. 83(9), pp. 1965-1974.
6. Ловейкин В.С. Синтез оптимального динамического режима движения стрелы манипулятора, установленного на упругом основании / В. С. Ловейкин, Д. А. Мищук // *Наука и техника*. – 2019. – Том 18, No 1. – С. 55-61.
7. Tchon K. Optimal Extended Jacobian Inverse Kinematics Algorithms for Robotic Manipulators / K. Tchon // *IEEE Transactions on Robotics*, – 2008. – No. 24(6), pp. 1440–1445. <https://doi.org/10.1109/tro.2008.2006240>.
8. Lovejkin V.S. Optimizaciya rezhimiv ruhu krana-manipulyatora z gidroprivodom: monografiya / V.S. Lovejkin, Yu.O. Romasevich, O.O. Spodoba // Kyiv, CP "Komprint", – 2021. p. 264, 2021.