

УДК 621.9.04-868

Оцінка динамічних властивостей великогабаритного маніпулятора наземного роботизованого комплексу

В.Б. Струтинський, Ю.Й. Бесарабець, О.А. Плівак, В.С. Павлун
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

Анотація. Запропоновані схемні рішення маніпуляторів та конструктивне виконання їх основних вузлів і елементів. Розроблені маніпулятори суттєво підвищують функціональні можливості наземних роботизованих комплексів при їх роботі з небезпечними об'єктами. Виконана оцінка динамічних властивостей великогабаритного (4...6 м) маніпулятора призначеного для використання в наземних роботизованих комплексах спеціального призначення.

Ключові слова: роботизовані комплекси, маніпулятори, динамічні властивості, частоти та форми коливань.

Наземні роботизовані комплекси спеціального призначення використовуються для роботи з небезпечними об'єктами, зокрема з мінами різного виду. В останніх дослідженнях і публікаціях [1] наведені різноманітні конструкції наземних роботизованих комплексів. Як правило, маніпулятори даних комплексів є невеликими і мають обмежений робочий простір (до 1 м) [2]. Це робить їх непридатними для пошуку небезпечних вибухонебезпечних об'єктів які знаходяться на безпечній відстані до шасі робота [3], [4].

Пошук небезпечних об'єктів запропоновано проводити за допомогою великогабаритних (4...6 м) маніпуляторів наземних роботизованих комплексів [5].

На основі аналізу інформаційних джерел встановлено, що проблема в загальному вигляді полягає у розробленні теорії проектування великогабаритних маніпуляторів.

Досліджень динамічних характеристик великогабаритних маніпуляторів наземних роботизованих комплексів у літературних джерелах не виявлено. Тому встановлено, що до невирішених раніше частин загальної проблеми відносяться розроблення методів оцінки динамічних властивостей великогабаритних маніпуляторів наземних роботизованих комплексів.

Метою досліджень поставлено розроблення методів оцінки динамічних властивостей великогабаритних маніпуляторів наземних роботизованих комплексів.

Задачами досліджень є обґрунтування динамічних моделей великогабаритних маніпуляторів та визначення на цій основі частот і форм власних коливань маніпуляторів.

Виклад основного матеріалу досліджень

Для фізичного сканування місцевості запропоновано застосувати наземні роботизовані комплекси, що мають великогабаритні маніпулятори довжиною 4..6 м. Запропоновані схемні рішення маніпуляторів та їх конструктивне виконання (рис. 1).

Великогабаритний маніпулятор має два важелі 1 і 2 виконані із композитних матеріалів з'єднані шарнірами. Важіль 2 має поворотний кронштейн 3 на якому встановлено нерухома 4 та переміщувана 5 маси, які служать для статичного та динамічного врівноваження важеля 2. На кінці важеля 2 маніпулятора розміщено необхідне технологічне обладнання 6, 7. Для фізичного сканування застосовується різноманітне технологічне обладнання у вигляді відеокамер, металошукачів, тактильних пристроїв, акустичних (ударних) засобів пошуку небезпечних об'єктів поєднаних із аналізаторами спектрів та інші.

Технологічне обладнання маніпулятора забезпечує можливість сканування поверхні в межах круга діаметром до 8 м

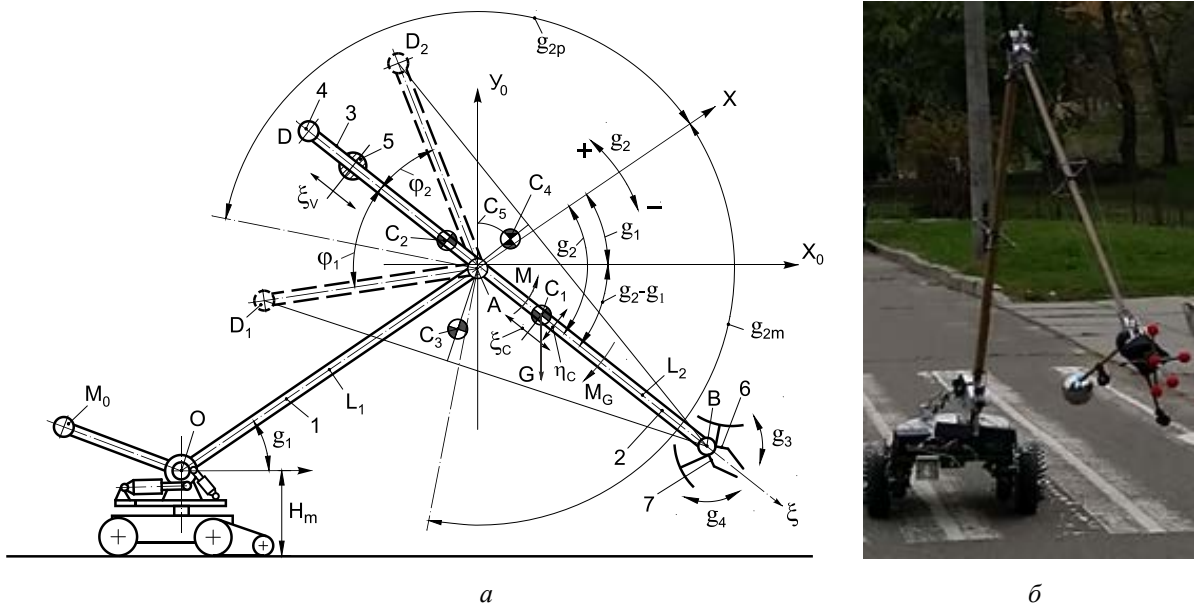


Рис. 1. Схема (а) та загальний вигляд (б) двох важільного великогабаритного маніпулятора встановленого на шасі наземного роботизованого комплексу

Ефективність фізичного сканування залежить від точності і стабільності позиціонування великогабаритного маніпулятора встановленого на шасі рухомого наземного роботизованого комплексу. На точність позиціонування значним чином впливає динаміка маніпулятора. Найбільш важливими з точки зору забезпечення точності є поперечно-кутові коливання важелів маніпулятора в горизонтальній площині .

Маса важелів є незначною у порівнянні із масою шарнірів та технологічного обладнання. Тому на основі проведених досліджень запропонована динамічна модель маніпулятора у вигляді невагомому пружного стрижня, на якому розміщені зосереджені маси, що відповідають шарніру та технологічному обладнанню маніпулятора (рис. 2).

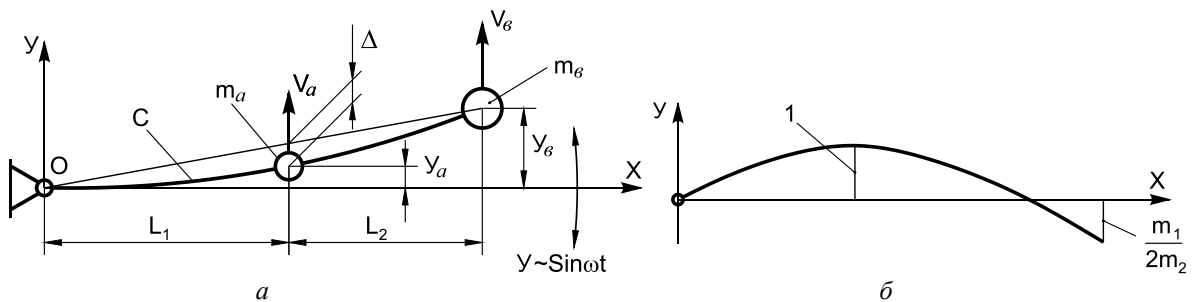


Рис. 2. Двохмасова динамічна модель горизонтальних коливань двох важільного великогабаритного маніпулятора (а) та основна форма коливань маніпулятора

Відповідно динамічній моделі маніпулятора проведена оцінка його динамічних властивостей.

Кінетична енергія динамічної системи великогабаритного маніпулятора визначиться залежністю:

$$T = \frac{m_a V^2}{2} + \frac{m_b V^2}{2} ,$$

де V_a та V_b – тангенціальні швидкості переміщення шарнірів A і B із зосередженими масами m_a та m_b .

В якості зосереджених мас m_a та m_b прийняті еквівалентні маси, що відповідають шарніру та технологічному обладнанню маніпулятора із врахуванням приєднаних мас важелів. Визначено числові значення $m_a = 0,35$ кг, $m_b = 0,54$ кг.

Введено припущення, що маніпулятор може вільно обертатись в горизонтальній площині на шарнірі O . Тому потенціальна енергія динамічної системи великогабаритного маніпулятора визначається лише деформацією важелів маніпулятора, як пружного стрижня.

Потенціальна енергія системи залежить від жорсткості стрижня при згині:

$$C = \frac{6EJ}{L^3},$$

де E – модуль пружності матеріалу важелів; J – момент інерції важелів при згині; Δ_a – прогин важелів в області шарніра, L – середня довжина кожного із важелів $L = (L_1 + L_2) / 2$.

Для підвищення точності розрахунку використано експериментальні методи визначення жорсткості маніпулятора проведені по спеціальній методиці [5]. Визначена експериментально жорсткість при згині еквівалентного стрижня, що відповідає несучій системі великогабаритного маніпулятора складає $c = 18,217$ кг·с⁻²

Потенціальна енергія динамічної системи великогабаритного маніпулятора складає:

$$\Pi = C \frac{\Delta_a^2}{2},$$

Наближено прийmemo:

$$\Delta = y_b / 2 - y_a,$$

де y_a та y_b переміщення зосереджених мас.

Диференціальні рівняння, що визначають переміщення зосереджених мас маніпулятора утворюють систему:

$$\begin{cases} m_a \ddot{y}_a + cy_a - cy_b / 2 = 0 \\ m_b \ddot{y}_b + cy_b / 4 - cy_a / 2 = 0 \end{cases}$$

Характеристичне рівняння для даної системи диференціальних рівнянь має вигляд:

$$\omega^2 \left[m_a m_b \omega^2 - \left(\frac{cm_a}{4} + cm_b \right) \right] = 0,$$

де ω – частота власних коливань динамічної системи великогабаритного маніпулятора.

Розв'язок характеристичного рівняння в загальному вигляді :

$$\omega_1 = 0, \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{cm_a + 4cm_b}{4m_a m_b}} = \sqrt{\frac{c}{m_a}} \cdot \sqrt{\frac{m_a + 4m_b}{m_b}}, \quad \omega_2 = 15,7 \text{ рад/с} = 2,6 \text{ Гц}$$

Форма коливань відповідна другій частоті коливань має вигляд знакозмінної кривої із вузловою точкою (рис. 2 б). Максимум форми знаходиться в області розташування шарніра маніпулятора.

Висновки

1. Динамічна система великогабаритного маніпулятора є низькочастотною. Частота власних коливань маніпулятора в горизонтальній площині складає близько 2,6 Гц.

2. Форма коливань маніпулятора є знакозмінною кривою параболічного типу максимум якої знаходиться в околиці шарніра маніпулятора, а мінімум знаходиться на кінці маніпулятора де знаходиться технологічне обладнання і складає близько –32 % від значення максимуму.

3. Вузлова точка форми коливань відповідна нульовим амплітудам коливань знаходиться на відстані близько $\frac{1}{4}$ від кінцевої частини маніпулятора.

Обговорення:

Низька частота власних коливань великогабаритного маніпулятора обумовлена значною довжиною важелів (4 м і більше). Для підвищення частоти власних коливань доцільно збільшити конструктивними методами J – момент інерції важелів при згині. Раціональним є використання шпренгельної системи для збільшення жорсткості важелів при згині. Технологічне обладнання маніпулятора у вигляді відеокамер доцільно розміщувати на відстані $\frac{1}{4}$ від кінцевої частини маніпулятора у вузловій точці форми коливань.

Список літератури:

1. Petrișor S.M. Aspects Regarding the Elaboration of the Geometric, Kinematic and Organological Study of a Robotic Technological Product “Humanitarian PetSim Robot” Used as an Avant-Garde Element of the Human Factor in High Risk Areas / S.M. Petrișor, M. Simion / Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1250. 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55180-3_24
2. Swett, B.A., Hahn, E.N., Llorens, A.J. Designing Robots for the Battlefield: State of the Art. In: von Braun, J., S. Archer, M., Reichberg, G.M., Sánchez Sorondo, M. (eds) Robotics, AI, and Humanity. Springer, Cham. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54173-6_11
3. Jaradat, M.A., Bani-Salim, M. & Awad, F. A Highly-Maneuverable Demining Autonomous Robot: an Over-Actuated Design. J Intell Robot Syst 90, 65–80 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10846-017-0654-y>
4. Strutynsky V. Substantiating the requirements to functional indicators for the manipulators of mobile robotic demining complexes / V. Strutynsky, V. Kotsiuruba, A. Dovhopoliy, O. Husliakov, R. Budianu, O. Kolos, I. Hrechka / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/7(101), 2019. p.p. 42–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178466>
5. Струтинський, В. Б. Наземні роботизовані комплекси: монографія /Струтинський В. Б., Гуржій А. М. / Житомир: ПП «Рута», 2023. - 497 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57111>

Assessment of the dynamic properties of the large-size manipulator of the ground robot complex

V. Strutinsky, Y. Besarabets, O. Plivak, V. Pavlun

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract. Proposed schematic solutions of manipulators and constructive implementation of their main nodes and elements. The developed manipulators significantly increase the functionality of ground robotic complexes when working with dangerous objects. An evaluation of the dynamic properties of the large-sized (4...6 m) manipulator intended for use in ground robotic complexes of special purpose was carried out.

Keywords: robotic complexes, manipulators, dynamic properties, frequencies and forms of oscillations.