

Полюхович А.Г., аспірант
Київський національний університет технологій та дизайну,
poliukhovych.a@knutd.edu.ua
Ковальов Ю.А., канд. техн. наук, доцент
Київський національний університет технологій та дизайну,
kovalov.ya@knutd.com.ua

ВПЛИВ МАСО-ІНЕРЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ДИНАМІКУ РУХУ ГІБРИДНОЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ З ОМНІНАПРАВЛЕНИМ ПРИВОДОМ

Сучасні транспортно-логістичні системи характеризуються високою інтенсивністю матеріальних потоків та підвищеними вимогами до адаптивності технологічних процесів. У зв'язку з цим відбувається поступовий перехід від автоматизованих транспортних засобів із фіксованими маршрутами руху (AGV) до автономних мобільних роботів (AMR), здатних функціонувати у динамічному середовищі та взаємодіяти з людиною-оператором у межах концепції Human–Robot Collaboration (HRC) [1, 2].

Одним із перспективних рішень для складських та виробничих транспортно-логістичних систем є використання гібридних транспортно-логістичних платформ з омнінаправленим приводом на базі коліс Mecanum. Такі платформи забезпечують голономний рух, що дозволяє здійснювати переміщення у довільному напрямку без зміни орієнтації корпусу. Це суттєво підвищує маневреність платформи в умовах обмеженого простору та складної конфігурації транспортних маршрутів [2].

Проте ефективність функціонування мобільної платформи визначається не лише її кінематичними можливостями, а й динамічними характеристиками системи. Зокрема, маса платформи, маса вантажу та момент інерції безпосередньо впливають на процеси розгону, гальмування, зміну траєкторії руху та енергоспоживання приводів. У зв'язку з цим виникає необхідність врахування масо-інерційних параметрів уже на етапі концептуального проектування мехатронної системи [3].

Положення платформи в локальній системі координат задається вектором швидкостей

$$\mathbf{V} = [v_x, v_y, \omega_z]^T$$

де v_x та v_y — лінійні швидкості руху платформи вздовж відповідних осей, а ω_z - кутова швидкість обертання навколо вертикальної осі.

Для омнінаправленої платформи з чотирма колесами Mecanum обернена кінематична задача визначає зв'язок між швидкістю руху платформи та кутовими швидкостями коліс [4]:

$$\omega_1 = \frac{1}{R} (v_x - v_y - (L_x + L_y)\omega_z)$$

$$\omega_2 = \frac{1}{R} (v_x + v_y + (L_x + L_y)\omega_z)$$

$$\omega_3 = \frac{1}{R} (v_x + v_y - (L_x + L_y)\omega_z)$$

$$\omega_4 = \frac{1}{R} (v_x - v_y + (L_x + L_y)\omega_z)$$

де R — радіус колеса; L_x — половина колісної бази; L_y — половина ширини колії; $\omega_1 \dots \omega_4$ — кутові швидкості коліс.

Для врахування динаміки руху введемо сумарну масу системи:

$$m_{\Sigma} = m_p + m_l$$

де m_p - маса платформи, m_l - маса вантажу.

Лінійний рух платформи описується другим законом Ньютона:

$$F = m_{\Sigma} a$$

а обертальний рух — рівнянням моментів:

$$M = J_z \varepsilon$$

де F - результуюча сила тяги; a — лінійне прискорення; M - момент сил; J_z - момент інерції платформи відносно вертикальної осі; ε — кутове прискорення.

Аналіз наведених співвідношень показує, що зі збільшенням маси вантажу зростають інерційні навантаження на приводи платформи. Це призводить до збільшення часу розгону та гальмування, зниження маневреності під час виконання складних траєкторій руху, а також до підвищення енергоспоживання системи. Крім того, збільшення моменту інерції ускладнює виконання швидких поворотів та зміну напрямку руху, що є особливо важливим для платформ з омнінаправленим приводом.

Для коліс Mecanum характерною особливістю є наявність додаткових втрат енергії, пов'язаних із конструкцією роликів та складним характером взаємодії колеса з опорною поверхнею. У результаті під час реалізації бокового або діагонального руху навантаження на електроприводи розподіляється нерівномірно, що також необхідно враховувати при проектуванні системи керування.

Таким чином, масо-інерційні параметри суттєво впливають на динаміку руху гібридної транспортно-логістичної платформи з омнінаправленим приводом. Врахування маси вантажу, моменту інерції та динамічних навантажень дозволяє підвищити точність моделювання руху, забезпечити коректний вибір параметрів приводів та створити передумови для подальшої оптимізації енерговитрат і алгоритмів керування автономною платформою.

Список посилань

1. Zhang M., Grosse E. H. How to Model Human–Robot Collaborative Logistics Systems: Systematic Literature Review and Future Perspectives. IFAC-PapersOnLine. 2024. Vol. 58, № 19. P. 379–384. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896324016707>
2. Keith R., La H. M. Review of Autonomous Mobile Robots for the Warehouse Environment. Reno : University of Nevada, 2024. 25 p. <https://arxiv.org/pdf/2406.08333>
3. Gerschütz B., Sauer C., Kormann A. et al. Digital Engineering Methods in Practical Use during Mechatronic Design Processes. Designs. 2023. Vol. 7, № 4. Art. 93. https://www.researchgate.net/publication/372436992_Digital_Engineering_Methods_in_Practical_Use_during_Mechatronic_Design_Processes
4. Taheri H., Qiao B., Ghaeminezhad N. Kinematic Model of a Four Mecanum Wheeled Mobile Robot. International Journal of Computer Applications. 2015. Vol. 113, № 3. P. 6–9. https://www.researchgate.net/publication/276344731_Kinematic_Model_of_a_Four_Mecanum_Wheeled_Mobile_Robot