

## Системи підвіски мобільних колісних роботів

Дмитро Кривошия, студент <sup>1</sup> (ORCID: 0009-0003-1118-1636)

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

### АНОТАЦІЯ

Автономна навігація з високою швидкістю по пересіченій місцевості є складною і актуальною задачею для колісних роботів. Колісні платформи є поширеним типом транспортних систем, які використовуються в робототехніці. Такі системи можуть бути з однією ведучою віссю або з повним приводом для кожного колеса. Для досягнення мобільності на місцевості, колісний робот повинен швидко адаптуватися та реагувати. Системи підвісок мобільних колісних роботів відіграють ключову роль у забезпеченні їхньої стабільності, маневреності та загальної ефективності. В даній роботі представлено комплексний аналіз різних типів підвісок, які застосовуються в сучасних мобільних колісних роботах. Розглянуто основні конструкції пасивних, активних, жорстких і пружних підвісок, а також їхні особливості, переваги та недоліки.

*Ключові слова:* мобільний робот, підвіска колеса, активна підвіска, пасивна підвіска, прохідність колеса.

### 1. ВСТУП

Мобільні колісні роботи відіграють ключову роль у сучасних технологіях – від логістики та промисловості. Ефективність та надійність таких роботів значною мірою залежать від конструкції їхньої підвіски, яка визначає прохідність, стійкість та енергоефективність.

Було проведено аналіз основних типів систем підвіски для колісних роботів, визначено їхні переваги та недоліки. Особлива увага приділяється аналізу впливу підвіски на динамічні характеристики робота, зокрема на здатність долати перешкоди, зменшувати вібрації та підтримувати контакт коліс з поверхнею.

### 2. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Жорстка пасивна підвіска є найпростішим типом підвіски ходового колеса. Такі підвіски мають просту конструкцію та дешеві у виробництві. Їх недоліком є відсутність забезпечення постійного зчеплення колеса з опорною поверхнею під час руху транспортного засобу по нерівній поверхні. Такі підвіски активно використовуються в роботизованих системах обслуговування складів, роботах для прибирання, рекламних роботах, а також у військових роботах. Наприклад, автономний мобільний складський робот Proteus (рис. 1), який використовується на складах Amazon, має жорстку, некеровану підвіску колеса.



Рисунок 1. Колісний робот Proteus

Безпілотний наземний робот Sirko-S1 (рис. 1) це – універсальний наземний робот, створений експертами оборонного кластера Brave1. Sirko-S1 призначений для допомоги військовослужбовцям у транспортуванні вантажів, евакуації поранених та розвідці позицій противника [2]. Цей робот також використовує жорстку колісну підвіску. Sirko-S1 має чотири електромотори-колеса від ховерборда, які кріпляться до рами за допомогою консульних осей. Колеса робота пневматичні, що дозволяє регулювати висоту дорожнього просвіту та динаміку руху.



Рисунок 2. Колісний робот Sirko

Для компенсації ударів та вібрацій в системах підвісок часто використовуються пружинні амортизатори. Це покращує керуваність та стійкість машини, але ускладнює їхню реалізацію. Робот AMBOT 4400GRP (рис. 3) стандартно оснащений 19-дюймовими шинами з дорожнім просвітом 20,32 см та незалежним ходом коліс. Робот приводиться в рух електродвигунами, незалежними для кожного колеса, а ємність акумулятора становить до 5,4 кВт·год з часом роботи до 8 годин. У цьому роботі використовується важлива еластична амортизуюча підвіска коліс. Це дозволяє роботу збільшувати швидкість до 20 км/год на нерівній місцевості, забезпечуючи при цьому плавний та стабільний рух [2]. Конструкція підвіски робота AMBOT 4400GRP є, по суті, двоважільною системою. Такі системи використовуються для покращення стійкості та маневреності, особливо на нерівних поверхнях. Двоважільні системи можуть використовуватися як для центрального, так і для розподіленого приводу.



Рисунок 3. Колісна платформа робота AMBOT 4400GRP

### 3. ВИСНОВКИ

Різні типи підвіски мають свої унікальні переваги та недоліки. Вибір оптимальної системи підвіски залежить від конкретних вимог та умов, зокрема:

- завдання, яке виконує робот, та середовища, в якому він працює;
- бюджету на розробку та обслуговування;
- ваги та розміру робота, оскільки великі та важкі роботи потребують міцніших та складніших систем підвіски;
- необхідності здатності адаптуватися до швидкозмінних умов.

Пружини підвіски важливі для належного керування роботом, який рухається зі швидкістю понад 8 м/с. На нижчій швидкості, ніж зазначено, пружини можуть зменшити мобільність робота, оскільки вони можуть змінювати силу тиску кожного колеса на опорну поверхню.

Типовий чотириколісний транспортний засіб з незалежною підвіскою може чинити тиск на опорну поверхню з однаковою силою для всіх чотирьох коліс, але колеса, що рухаються по нерівних поверхнях, насправді підтримують більшу вагу, і це може призвести до зниження зчеплення легких транспортних засобів. Кращим рішенням на низьких швидкостях було б підняти деякі колеса над нерівностями відносно шасі, що значно зменшить зміни розподілу ваги. Це характерна риса підвіски на поперечних важелях.

Тиск, що чиниться на опорну поверхню для колеса варіюється від 20 до 80 кПа для всіх типів транспортних засобів. Цей діапазон настільки вузький через тип ґрунту та матеріали. Існують спеціалізовані транспортні засоби, призначені для руху по пухкому снігу, які створюють середній тиск лише 5 кПа. Як правило, транспортні засоби з низьким контактним тиском краще працюватимуть на м'якій поверхні (наприклад, пухкий сніг, пісок, бруд), тоді як транспортні засоби з вищим контактним тиском краще працюватимуть на твердих поверхнях, таких як асфальт, тверда земля тощо.

Один із способів підвищення мобільності мобільної платформи – це можливість змінювати положення центру мас за потреби. Цього можна досягти, переміщуючи спеціальний вантаж навколо шасі або змінюючи положення різних елементів на платформі, елементів, які є достатньо важкими для виконання завдання.

Діаметр коліс є ще одним важливим фактором мобільності платформи: чим більше колесо, тим більшу перешкоду може подолати транспортний засіб. Розглядаючи дуже просту платформу, колесо може подолати перешкоду, таку як сходи, якщо висота перешкоди менше 1/3 діаметра колеса. У чотириколісних всюдиходах висота перешкоди може сягати половини діаметра колеса. Існують й інші способи подолання перешкоди типу сходів. Наприклад, якщо кероване колесо притиснути до вертикальної стінки перешкоди, діаметр якої перевищує половину діаметра колеса, то за певного співвідношення між силою штовхання та навантаженням, розподіленним на колесі, воно підніметься по вертикальній стінці. Це один із принципів, що забезпечують роботу систем підвіски гойдалки. Хороша мобільність не обов'язково означає, що всі колеса контактують з місцевістю. Найкраще використовувати механізми, які дозволяють утримувати всі колеса на опорній поверхні. Гарним способом вирішення цієї проблеми є використання шасі, яке розділене поперечно, причому дві частини з'єднані пасивним центральним шарніром.

#### Список літератури

- [1] Коробенко Я., Міщук Д., Балака М. Огляд систем підвіски мобільних колісних роботів. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2024. №104. С. 28–37.
- [2] Zhu Binneng, Ruan Zhaowu, Zhao Lajjie, Kuka robot guangdong co ltd. Transport vehicle: Patent CN209600680U; 2019. 5 p.
- [3] Song Z., Luo Z., Wei G., and Shang J. Design and analysis of a six-wheeled companion robot with mechanical obstacle-overcoming adaptivity, *Mech. Sci.* 2021. No.12. P. 1115–1136.
- [4] Tarokh M., Ho H. D., Bouloubasis A. Systematic kinematics analysis and balance control of high mobility rovers over rough terrain. *Robot. Auton. Syst.* 2013. No. 61. P. 13–24.
- [5] Mishchuk D., Mishchuk Y., Kalashnikov O. Analysis of the control system of the clear logic of the wheel robot with differ-ential drive. *Girnichy, budivelni, Dorozhni Ta meliorativni Mashini*. 2021. No. 97. P. 12–23.
- [6] Wilcox B. H., Litwin T., Biesiadecki J., Mat-thews J., Heverly M., Morrison J., Townsend J., Ahmad N., Cooper B. ATHLETE: A cargo handling and manipulation robot for the moon. *J. Field. Robot.* 2007. No. 24. P. 421–434.
- [7] Iagnemma K. D., Rzepniewski A., Dubowsky S., Pirjanian P., Huntsberger T. L., Schenker P. S. Mobile robot kinematic reconfig-urability for rough terrain. In *Sensor Fusion and Decentralized Control in Robotic Systems III*. International Society for Optics and Photonics. Boston, M.A., Ed.; *SPIE: Bellingham, WA, USA*. 2000. Vol. 4196, P. 413–421.

<sup>i</sup> Робота виконана під керівництвом Дмитра Міщука, доц., доц. кафедри БМ.