

УДК 621.09.04

Дослідження ефективності застосування керованих демпферних пристроїв у складі рухомих систем наземних роботизованих комплексів

Струтинський С. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація:** Використання наземних роботизованих комплексів для вирішення більш широкого кола задач потребує покращення їх характеристик. При переміщенні по поверхнях, що містять нерівності та маніпулюванні об'єктами під час руху необхідно забезпечувати кращі динамічні характеристики роботизованих систем. У роботі досліджено динаміку несучої конструкції та маніпулятора роботизованого комплексу у прив'язці до робочого простору. Розроблена математична модель, що описує динаміку механічної системи. Запропоновані шляхи підвищення динамічних характеристик роботизованого комплексу завдяки застосуванню керованих демпферів, що забезпечують гасіння коливань які діють у довільних напрямках. Досліджено роботу демпферного пристрою у складі мехатронної системи керування. По результатам проведення чисельного експерименту виконана оцінка ефективності застосування демпфера.*

***Ключові слова:** наземний роботизований комплекс; маніпулятор; мехатронна система; математичне моделювання; динамічні характеристики; демпфер; точність.*

Наземні роботизовані комплекси застосовуються для виконання різнопланових задач на виробництві та при роботі у польових умовах. Сучасні рішення повинні забезпечувати можливість переміщення по нерівним поверхням із високими швидкостями. Коливання, що виникають під час руху комплексу обмежують можливості маніпулятора та оптичної системи. Саме тому покращення динамічних характеристик роботизованих комплексів є актуальною науково-технічною задачею.

Найбільш широко використовуються роботизовані комплекси, що побудовані на колісному та гусеничному шасі [1]. Вони можуть працювати при значних динамічних навантаженнях, що призводить до виникнення коливань системи [2]. При переміщенні спостерігаються поперечно-кутові переміщення ланок маніпулятора та несучих конструкцій оптичної системи. Рівень коливань цих елементів має бути максимально знижений для покращення характеристик системи, зокрема точності. Дослідження коливальних процесів маніпулятора у складі рухомого комплексу має на меті визначення шляхів зниження рівня коливань.

Робізовані комплекси містять ланки та конструкції консольного виду, що схильні до виникнення коливань під час руху із високими швидкостями або при подоланні перешкод. Особливо важливим є зниження рівня вібрацій під час маніпулювання нежорсткими об'єктами або при взаємодії із предметами під час руху. Для вирішення задачі покращення динаміки системи необхідно визначати динамічні характеристики маніпулятора у прив'язці до робочого простору. Результати досліджень є вхідними даними для розробки алгоритму роботи системи гасіння коливань та моделювання динаміки системи із демпфуванням.

Динамічні дослідження маніпулятора представлені у публікації [3]. Їх результати (рис. 1) лягли в основу подальших досліджень динаміки та формування керуючих сигналів для управління регульованими демпферними пристроями.

Найоптимальнішим шляхом динамічної стабілізації положення маніпулятора є застосування регульованих демпферних пристроїв. Вони мають встановлюватися поблизу оптичної системи та поруч із поворотними вузлами В та С (рис. 1).

При практичному застосуванні можливе використання регульованих демпферних пристроїв традиційної конструкції [4]. У існуючому рішенні застосовується феромагнітна рідина, завдяки чому забезпечується зміна характеристик демпфера у досить широкому діапазоні. Однак для сприйняття коливань, що діють у довільному напрямку Більш доцільним виглядає застосування спеціалізованих пристроїв.

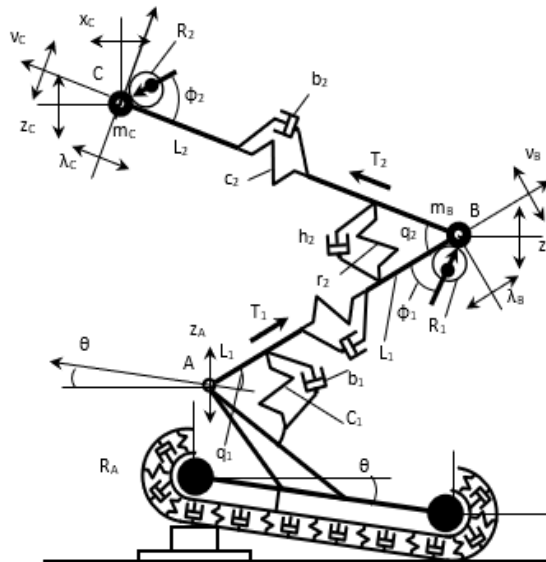


Рис. 1. Динамічна схема маніпулятора, що включає демпферні пристрої

Для виконання даної функції рекомендується використання спецізованого демпфера, який включає корпус 1, що містить електромагніти 2-5 (рис. 2 а). У реальній конструкції передбачається застосування від восьми до двадцяти електромагнітів, що рівномірно розподілені по сферичній поверхні. У склад корпусу входить кожух 6, що утворює сферичну порожнину, яка частково або повністю заповнена феромагнітною рідиною 7. У порожнині розміщена магнітна сфера 8, що є дещо меншою за діаметром від розміру порожнини.



Рис. 2. Схема демпферного пристрою та його компоненти: а – конструктивна схема; б – сферична порожнина кожуха; в – магнітна сфера, що покрита феромагнітною рідиною

Розглянемо принцип роботи пристрою та виконання ним задач по демпфуванню коливань, що діють лише у вертикальному та горизонтальному напрямках. У початковому положенні демпфера електричний струм подається до електромагніту 3, завдяки чому сфера знаходиться у нижньому положенні. Феромагнітна рідина накопичується поблизу полюсів

сфери. У залежності від кількості рідини, що використовується вона може займати невеликі області, а при її значному об'ємі може повністю покривати кулю. Феромагнітна рідина формує масив постійно існуючих виступів поблизу полюсів.

При відключенні електромагніту 3 та подачі живлення до електромагніту 2 сфера переміститься до останнього при цьому збільшуючи свою швидкість. При дії сфери на корпус створюється значне динамічне зусилля R . Сумісна дія на сферу декількох магнітів, у даному випадку 2 та 4 забезпечує створення зусилля, що діє під кутом φ_1 .

Дослідний зразок демпфера включає кожух (рис. 2 б), що складається із двох частин, які з'єднані між собою у діаметральній площині. Ущільнення забезпечується гумовою прокладкою, що розміщена по площині роз'єму. У кожусі розміщено крановий отвір, що за нормальної роботи глушиться гвинтом. На початковому етапі він застосовується для дозованого заповнення порожнини рідиною.

Для дослідження роботи маніпулятора, обладнаного спеціалізованими демпферними пристроями проведено його моделювання у середовищі Matlab. При вирішенні вказаної задачі визначено динамічні параметри шарніра С маніпулятора, що є його вихідною ланкою. На основі рівнянь динаміки розроблені дві математичні моделі. Перша модель мехатронної системи керування (рис. 3 а) не включає демпферні пристрої, а друга (рис 3. б) містить вказані пристрої.

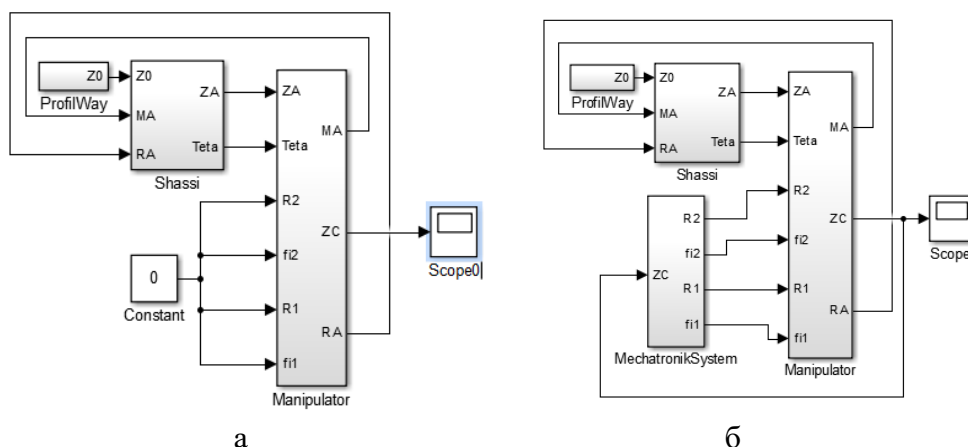
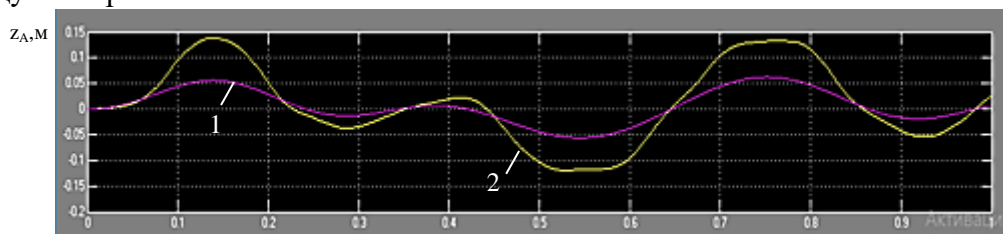
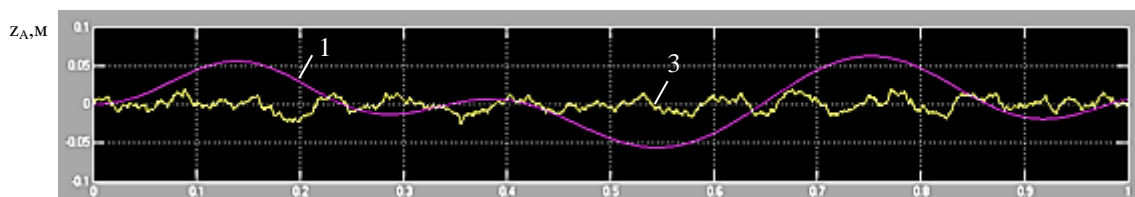


Рис. 3. Модель мехатронної системи керування: а - без демпфування; б - модель системи керування, обладнаній демпферними пристроями

В результаті проведеного моделювання роботизованого комплексу без демпфування було отримано залежність, що описує коливання вихідної ланки (рис. 4 крива 2). Результати отримані для випадку використання вхідного сигналу, що відповідає нерівностям поверхні, по якій переміщується роботизований комплекс.



а



б

Рис. 3. Результати моделювання переміщення оптичних пристроїв при русі роботизованого комплексу по нерівній дорозі: а – нерівності поверхні дороги та коливання вихідної ланки без демпфування ; б – переміщення вихідної ланки зпри використанні демпферних пристроїв

Амплітуди переміщення вихідної ланки без демпфування та можуть сягати 140 мм. Динамічний процес супроводжується поперечно-кутовими коливаннями маніпулятора. Суттєва зміна положення вихідної ланки впливає на керованість маніпулятора роботизованого комплексу та значно обмежує його можливості.

Для ефективного гасіння коливань у склад мехатронної системи вводяться регульовані демпферні пристрої. Розроблений алгоритм системи керування дозволяє значно знизити рівень вібрацій. У мехатронній системі працюють ПІД-регулятори, що дозволяє у повній мірі розкрити потенціал системи керування, обладнаної датчиками зворотного зв'язку. Регулятори утворюють векторну структуру у складі блоку Mechatronik System (рис. 3). Реалізація зворотного зв'язку здійснюється за допомогою акселерометрів, що встановлені на ланках маніпулятора.

Результати моделювання дозволили підібрати коефіцієнти регуляторів та вдосконалити структуру мехатронної системи. Перевірка роботи алгоритму реалізована шляхом моделювання із врахуванням цифрового шуму, що накладається на сигнал від датчиків. Результати моделювання мехатронної системи, що використовує керовані демпферні пристрої показали суттєве зниження рівня коливань вихідної ланки маніпулятора (крива 3 на рис. 4 б).

Розроблена кінетостатична математична модель дозволяє врахувати впливові робочі процеси маніпулятора у прив'язці до його робочого простору. Вивчені особливості використання у складі маніпулятора демпферного пристрою, що здатен гасити коливання у будь-якому напрямку. Розроблена математична модель роботизованого комплексу дозволяє значно підвищити динамічні характеристики системи. Включення у її склад регульованих демпферних пристроїв дозволяє ефективно впливати на робочі процеси та знизити рівень вібрацій. Чисельний експеримент підтвердив ефективність застосування регульованих демпферних пристроїв для зниження рівня коливань маніпулятора роботизованого комплексу.

Список літератури

1. Baoquan Li ; Yongchun Fang ; Guoqiang Hu ; Xuebo Zhang Model-Free Unified Tracking and Regulation Visual Servoing of Wheeled Mobile Robots/ *Journal Sensors and Actuators A: Physical, IEEE Transactions on Control Systems Technology* (Volume 24, Issue: 4), 2016 pp. 1328 – 1339.
2. Hyun-Min Joe Jun-Ho Oh Balance recovery through model predictive control based on capture point dynamics for biped walking robot / *Robotics and Autonomous Systems* Volume 105, July 2018, Pages 1-10.
3. Serhii Strutynskiy, Waldemar Wójcik, Sandugash Orazalieva. 2019 Grounds for mechatronic system development of the optical devices position dynamic stabilization of a mobile terrestrial robotic system. Proceedings Volume 11176, *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments* 2019; 1117610. <https://doi.org/10.1117/12.2536905>
4. Strutynskiy S., Nochnichenko I., Kryvosheiev V. The use of adjustable damping devices for increasing technical level of ground robotic complexes equipped with a manipulator / *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях»* - №4(107). – 2022. – С. 49-58.

Research of the effectiveness of the use of controlled damping devices as part of the moving systems of ground robotic complexes

Serhii Strutynskyi

The use of ground-based robotic complexes to solve a wider range of problems requires improving their characteristics. When moving on surfaces containing irregularities and manipulating objects during movement, it is necessary to ensure better dynamic characteristics of robotic systems. The work examines the dynamics of the supporting structure and the manipulator of the robotic complex in relation to the workspace. A mathematical model describing the dynamics of the mechanical system was developed. Proposed ways to improve the dynamic characteristics of the robotic complex due to the use of controlled dampers that provide damping of oscillations acting in arbitrary directions. The operation of the damping device as part of the mechatronic control system was investigated. According to the results of the numerical experiment, the effectiveness of the damper application was evaluated.

Keywords: ground robotic complex; manipulator; mechatronic system; mathematical modeling; dynamic characteristics; damper; precision.