

рекомендовано використовувати у регульованих підвісках транспортних засобів для підвищення їх плавності руху[1].

Доведено, що діапазони змін жорсткості та демпфуючих властивостей МРЕ визначається характером розподілу частинок феромагнітного порошку наповнювача в межах пружної матриці.

Найбільший діапазон цих змін спостерігається при анізотропній структурі МРЕ, коли частинки наповнювача утворюють конгломерати, які розташовані уздовж ліній регулюючого магнітного поля. Для досягнення максимального ефекту щодо збільшення жорсткості та демпфуючих властивостей МРЕ необхідно забезпечити спів падіння напрямків конгломератів, вектору індукції керуючого магнітного поля та деформацій МРЕ. Для цього розроблено технологію виготовлення пружних шарнірів із анізотропним МРЕ. Вона полягає у тому, що тороподібну порожнину форми заповнюють композитом із рідкого полімеру та порошку феромагнетику і виконану із еластичного провідника струму торо подібну котушку керування. Форму розміщують до термошафи, а до тороподібної котушки керування подають постійний електричний струм, щільність якого, час подачі та температуру у термошафи задають у відповідності до встановленої технології полімеризації даного МРЕ.

Отримані за цією технологією пружні втулки із анізотропним МРЕ може бути використано при створенні шарнірів важелів керованих підвісок автомобілів та повідцевих зв'язків колісних пар із рамами візків залізничних транспортних засобів.

Перелік посилань

1. Dushchenko V.V., Liubarskyi B.G., Masliev A.O., Nanivskyi R.A., Masliev V.G., Ahapov O.M., Iakunin D.I. Increasing the damping properties of the magnetorheological actuator of the vehicle suspension control system. // Electrical Engineering & Electromechanics, 2024, no. 5, pp. 77-86. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2024.5.11>

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОВОРОТУ ВІЗКІВ БЕЗПІЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

д-р техн. наук, професор Клец Дмитро Михайлович

д-р техн. наук, професор Коробко Андрій Іванович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасні безпілотні транспортні засоби характеризуються високими вимогами до точності керування траєкторією руху, особливо під час маневрування та проходження поворотів. Одним із ключових елементів забезпечення стійкості руху є система стабілізації повороту візків, яка

повинна компенсувати зовнішні збурення, забезпечувати курсову стійкість та мінімізувати відхилення від заданої траєкторії.

Принципи побудови системи стабілізації.

Системний підхід до моделювання динаміки візка. Візок безпілотного транспортного засобу розглядається як нелінійна динамічна система з обмеженнями неголономного типу, що визначають кінематичні зв'язки між швидкістю, кутом повороту та положенням. Врахування неголономності дозволяє формувати адекватні закони керування, які забезпечують асимптотичну стійкість руху навіть за наявності збурень. Математична модель повинна включати параметри маси, моментів інерції, характеристик шин та взаємодії з опорною поверхнею. [1]

Використання багаторівневої структури керування. На нижньому рівні реалізуються регулятори виконавчих механізмів (електроприводи коліс, гідроприводи повороту), які забезпечують швидкодію та точність виконання команд. Як показано у дослідженнях, застосування ПД-регуляторів дозволяє досягти відсутності статичної похибки та забезпечити стійкість системи до збурень. Верхній рівень формує керуючі впливи на основі аналізу траєкторії та стану системи. [2]

Комбіноване керування поворотом візка, що передбачає використання декількох керуючих впливів. Зокрема, ефективним є поєднання геометричного повороту коліс і диференціального розподілу тягових моментів між лівим і правим бортами. Такий підхід дозволяє зменшити опір повороту, підвищити маневреність та забезпечити більш точне відпрацювання траєкторії руху. У безпілотних системах це реалізується автоматично на основі даних датчиків. [3]

Інтеграція системи стабілізації з сенсорною підсистемою. Безпілотний транспортний засіб використовує комплекс датчиків (інерціальні вимірювальні модулі, лідари, камери), які забезпечують оцінку положення, швидкості та зовнішніх умов руху. Використання розширюваних сенсорних систем дозволяє формувати адаптивні алгоритми керування, інваріантні до змін середовища [4]. Це особливо важливо для руху в умовах невизначеності або змінних дорожніх умов.

Застосування методів робастного та адаптивного керування. Оскільки параметри системи можуть змінюватися (завантаження, стан дорожнього покриття, знос шин), система стабілізації повинна забезпечувати стійкість при параметричних невизначеностях. У сучасних дослідженнях використовуються методи модального керування, спостерігачі стану та алгоритми оптимального керування, що дозволяють підвищити точність стабілізації та зменшити вплив збурень [5].

Врахування динаміки курсової стійкості транспортного засобу. Під час повороту важливим є контроль кута заносу та розподілу гальмівних і тягових сил. Дослідження показують, що стабілізація курсового кута може

здійснюватися за рахунок диференційованого гальмування або перерозподілу моментів між колесами, що дозволяє зменшити ризик втрати стійкості [6].

Перелік посилань

1. Grushkovskaya, V.V. & Zuyev, Alexander. (2019). Stabilization of underactuated nonlinear systems to non - feasible curves. PAMM. 19. 10.1002/pamm.201900160.
2. Микитченко В.В., Паянок О.А. Система стабілізації швидкості транспортного засобу на базі мотор-колес. *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)* : Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців : тези доповідей, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 22.06.2023 р.
3. Подригало М., Гармаш В., Горєлишев О., Баулін Д., Яровой Г., Сидоренко І. Поліпшення маневреності колісного транспортного засобу шляхом вдосконалення способу управління поворотом. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР*. 2023. 1. 68–75. doi: 10.20998/2079-0775.2023.1.07.
4. Шістеров І. Ю. Графова модель керування рухом безпілотного транспортного засобу : пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія. Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2024. 64 с.
5. Теряєв В.І., Желінський М.М., Приймак Б.І., Зайченко О.А. Стабілізація системи електромагнітного підвішування методами модального керування та спостереження стану. Електромеханічне перетворення енергії. 2025. 4. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2025.04.062>
6. Алгоритм динамічної стабілізації курсового кута транспортного засобу при гальмуванні / В. Волков, І. Грицук, Т. Волкова та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2021. 1. 33-44.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ РУХОМОГО СКЛАДУ

канд. техн. наук, доцент Комарова Ганна Леонідівна
здобувач Крушельницький Захар Володимирович
здобувач Ковальова Маргарита Сергіївна
здобувач Гордієнко Владислав Віталійович
Український державний університет залізничного транспорту

Ефективна експлуатація залізничного транспорту в сучасних умовах безпосередньо пов'язана з розробкою та впровадженням прогресивних