УДК 656.11, 656.13

Пелех О.Р., аспірант
Національний університет «Львівська політехніка», alexey.pelekh@gmail.com

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ СИСТЕМ ПІДРЕСОРЮВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

Актуальність дослідження зумовлена потребою підвищення ефективності експлуатаційних характеристик автомобілів шляхом удосконалення конструкцій підвіски. Плавність ходу, стійкість і керованість напряму залежать від характеристик підресорених систем [1]. Проте наявні математичні моделі або надто спрощені, або ж не враховують багатьох чинників, зокрема збурень від озброєння, особливо у військовій техніці.

Метою дослідження є систематизація існуючих методів та моделей дослідження систем підресорювання і подальше їх використання для структурного синтезу мехатронних систем підвіски. Проаналізовано широкий спектр підвісок — від пасивних до повністю активних [2, 3], та визначено їх сильні й слабкі сторони: простота, надійність, шумоізоляція, керованість, енергоспоживання тощо.

Результати аналізу показали, що на сучасному етапі найбільшу ефективність демонструють адаптивні та напівактивні системи, які здатні реагувати на зміну умов руху. Водночас, активні системи вимагають значних енергетичних затрат. Запропоновано удосконалене класифікаційне представлення мехатронних підвісок [4, 5], що може бути основою для формалізованого вибору типу системи підресорювання під задані умови.

Крім того, у низці досліджень [1, 3] зазначено, що впровадження електронно-керованих клапанів і інтелектуальних сенсорів дозволяє досягти динамічного регулювання характеристик амортизаторів у режимі реального часу. Це особливо важливо для транспорту, що експлуатується в умовах змінного навантаження чи нерівномірного дорожнього покриття. Такі рішення вже знаходять застосування в системах типу semi-active, де рівень жорсткості і демпфування можна адаптувати за допомогою мікроконтролерів без істотного збільшення енергоспоживання. Подальші розробки у цій галузі зосереджуються на зниженні інерційності роботи систем і збільшенні точності їх реакції на коливальні процеси кузова.

Згідно з [2, 4], однією з перспективних тенденцій у розробці підвісок є створення адаптивних систем із можливістю машинного навчання. Це дозволяє забезпечити не лише миттєву реакцію на дорожні умови, а й накопичення інформації про маршрути та поведінку водія з подальшою оптимізацією параметрів системи. Такі підходи, засновані на обробці великих обсягів даних (Big Data), відкривають можливості до створення предиктивного управління, коли підвіска готується до зміни покриття або маневру ще до моменту його виконання. Важливо, що реалізація цих функцій можлива навіть у межах напівактивних систем, зберігаючи баланс між ефективністю і споживанням енергії.

Паралельно з технічними удосконаленнями, важливим напрямом залишається забезпечення ремонтопридатності та уніфікації елементів підвіски. Як зазначено в [1], надмірна складність активних систем може ускладнювати обслуговування в польових умовах. Тому актуальними залишаються компромісні конструкції, які поєднують базові функції адаптації з високою надійністю та простотою технічної реалізації.

Таким чином, представлений огляд дозволяє обґрунтовано підходити до вибору типу підвіски, оцінювати її відповідність до експлуатаційних умов і забезпечує теоретичну базу для подальших досліджень і вдосконалення автомобільних систем руху.

Слід зазначити, що вибір оптимальної конструкції підвіски тісно пов’язаний із конкретними умовами експлуатації транспортного засобу. Для цивільного транспорту основним пріоритетом є забезпечення комфорту та паливної економічності, тоді як для спеціальної техніки – витривалість та адаптація до складного рельєфу місцевості. У зв’язку

з цим підвищується значення багатофакторного аналізу, що дозволяє комплексно оцінити вплив підвіски на динамічні характеристики автомобіля.

Мехатронні підвіски, як інтегровані системи, поєднують елементи механіки, електроніки та програмного забезпечення. Завдяки цьому вони здатні оперативно реагувати на зміну дорожніх умов, забезпечуючи стабільність та безпеку руху. При цьому важливим аспектом є не лише апаратна реалізація, але й алгоритмічна частина – системи управління повинні бути адаптивними, мати низьку інерційність і високу надійність. Однією з актуальних задач є розробка інтелектуальних алгоритмів, що базуються на елементах машинного навчання.

Сучасні дослідження у цій сфері також спрямовані на створення цифрових двійників підвісок, що дозволяє віртуально випробувати їхню поведінку у змодельованих умовах. Це значно скорочує час і витрати на створення нових конструкцій. Впровадження таких інструментів у практику автомобілебудування сприятиме переходу до концепції «індустрії 4.0» в транспортному секторі.

Отже, розвиток систем підресорювання є важливим етапом удосконалення транспортних засобів загалом. Інтеграція сучасних технологій у цю сферу дозволяє досягати вищих стандартів безпеки, комфорту та ефективності. Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення універсальних адаптивних систем, що здатні автоматично налаштовуватись на конкретні умови експлуатації без участі водія.

Варто також звернути увагу на важливість енергетичної ефективності у системах підресорювання. У зв’язку з підвищеними вимогами до екологічності транспорту та зниженням споживання пального, сучасні підвіски повинні не тільки ефективно демпфувати коливання, але й мінімізувати витрати енергії на свою роботу.

Дослідження показують, що навіть незначні покращення у налаштуванні параметрів підвіски можуть забезпечити відчутне зниження втомлюваності водія та пасажирів, а також підвищити загальну експлуатаційну надійність автомобіля. В умовах активної урбанізації зростає роль адаптивних систем, здатних працювати у режимі прогнозування поведінки дорожнього покриття.

Перспективним напрямом розвитку є створення єдиної інтегрованої системи керування, яка поєднує роботу підвіски, гальмівної системи, трансмісії та штучного інтелекту. Таке комплексне рішення дозволяє значно розширити можливості адаптації автомобіля до зовнішніх умов у режимі реального часу.

Таким чином, синтез технічних, інформаційних і аналітичних підходів у створенні підвісок нового покоління становить собою основу для переходу до автономного та енергоефективного транспорту майбутнього.

Ключові слова: системи підресорювання, підвіска, мехатроніка, динамічне моделювання, керованість, комфорт, військові автомобілі.

Список посилань

1. Дущенко В.В. Системи підресорювання військових і колісних машин: розрахунок та синтез : навч. посіб. / В.В. Дущенко. — Харків : НТУ «ХПІ», 2018. — 336 с.

2. Грубель М.Г., Красюк О.П., Сокіл М.Б. Вертикальні коливання підресореної частини колісних транспортних засобів / М.Г. Грубель, О.П. Красюк, М.Б. Сокіл // Наукові нотатки. — 2014. — Вип. 46. — С. 112–116.

3. Tkachuk P.P. Evaluation of nonlinear suspension force characteristics on firing performance / P.P. Tkachuk, M.H. Hrubel, M.B. Sokil, R.A. Nanivskyi // Military Technical Collection. — 2016. — № 15. — P. 42–47.

4. Sokil B.I. Vertical oscillations of vehicle body considering nonlinear elastic suspension / B.I. Sokil, R.A. Nanivskyi, M.H. Hrubel // Автомобільний транспорт. — 2013. — № 5 (235). — С. 15–18.

5. Melnyk B.A. Mathematical modeling of dynamic processes in combat vehicle elements / B.A. Melnyk, A.N. Malakey, D.S. Mukhin, et al. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР. — 2013. — № 1 (975). — С. 93–117.