

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В ПІДВІСЦІ АВТОМОБІЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто стан проблеми рекуперації енергії в підвісці автомобілів, визначено основні вимоги до підвісок автомобілів з системами рекуперації енергії, запропоновано основні напрямки їх удосконалення.

Ключові слова: підвіска, автомобіль, амортизатор, рекуперація, енергоефективність

Abstract

The state of the problem of energy recovery in car suspension is considered, the basis of the requirement for car suspension with energy recovery systems is determined, the main directions of their improvement are proposed.

Keywords: suspension, car, shock absorber, recuperation, energy efficiency

Вступ

Підвищення плавності ходу автомобілів переважно залежить від зменшення амплітуди коливань та віброприскорення на місцях, що відведені для водія та пасажирів. Причому, пасажирів по-різному реагують на коливання різних частот, що викликає потребу вибіркового гасіння спектру частот цих коливань. Характеристики коливань підресорених мас залежать від зовнішніх чинників (профілю дороги, швидкості автомобіля тощо) та передавальної функції підвіски, яка визначається параметрами пружного та демпфуючого пристроїв. Зазвичай, висока плавність ходу може бути досягнута зниженням жорсткості пружного пристрою та коефіцієнта демпфування амортизатора що вплине на збільшення ходу підвіски.

Результати дослідження

Стійкість і керованість підвіски слід розглядати в сукупності, так як для цієї механічної системи вони є рівнозначними. Вони визначають як підтримку потрібного положення колеса щодо дороги, так і зниження амплітуди коливання на кожному колесі. Перша вимога, переважно забезпечується напрямним пристроєм підвіски, а друга - підбором характеристики амортизатора, зокрема, забезпеченням оптимальної інтенсивності згасання коливань невіднесеної маси. Після будь-якого збудження) ефективним є вибір такого демпфування, за якого згасання відбувається впродовж одного періоду. Проте, у разі невіднесених мас, доцільно дещо знижувати демпфування, щоб зменшити час відновлення контакту колеса з дорогою під час наїзду на нерівність. Слід зазначити, що коефіцієнт демпфування, який є оптимальним за контакту колеса з дорогою, як правило, суттєво більший, ніж визначений з врахуванням плавності ходу.

Ще однією вимогою до підвіски автомобіля є забезпечення мінімізації змін положення кузова, тобто зниження бічного та поздовжнього крену під час проходження повороту та розгону або гальмуванні. Ця вимога спрямована на підвищення комфорту водія та пасажирів, а також забезпечення оптимального положення коліс відносно дороги, що є проблематичним за великих кутових переміщень кузова, враховуючи кінематику напрямних пристроїв сучасних незалежних підвісок. Крім удосконалення конструкцій напрямних пристроїв, знизити крени кузова можна шляхом підвищення жорсткості підвіски, збільшення опору амортизаторів, підвищення жорсткості стабілізаторів поперечної стійкості.

Слід зазначити, що вимоги до підвіски, зумовлені різними експлуатаційними властивостями, суперечать один одному. Таким чином, за заданою жорсткістю підвіски, характеристикою демпфування амортизатора та інших параметрів поєднання отриманих експлуатаційних характеристик буде оптимальним тільки для певних експлуатаційних умов. В цьому випадку необхідно вибирати

компромісні значення параметрів підвіски або мати можливість змінювати їх залежно від умов експлуатації автомобіля, та рекомендацій водія.

У адаптивній підвісці характеристики демпфування амортизаторів автоматично змінюються в залежності від режиму руху автомобіля та профілю дорожньої поверхні. Більш широким є поняття «активна підвіска». Тут можлива зміна таких параметрів, як жорсткість підвіски, дорожній просвіт, демпфування, жорсткість стабілізаторів поперечної стійкості, а в деяких конструкціях можлива навіть зміна кінематики напрямного пристрою.

Ще однією її особливістю є можливість примусового переміщення кожного колеса окремо щодо кузова, що може дозволити контролювати динамічне навантаження на колеса, переміщуючи його траєкторією, що копіює профіль дороги. Такі системи дозволяють забезпечити вимоги щодо керованості, стійкості, а також плавності ходу. Наприклад, за рівномірного руху нерівною дорогою жорсткість підвіски буде мала, а характеристики демпфування близькі до характеристики амортизатора односторонньої дії. Але під час маневрування, а також розгону і гальмуванні жорсткість підвіски, як і коефіцієнт демпфування амортизатора, необхідно підвищити, щоб знизити крен кузова і поліпшити контакт колеса з дорогою. Проте такі системи під час експлуатації вимагають енергетичних витрат за їх постійної роботи. Це є суттєвим недоліком, особливо враховуючи те, що елемент, який найбільше потребує управління, амортизатор, виконує ще функції розсіювання енергії у вигляді тепла. Витрата енергії на управління розсіюванням енергії - це не найбільш раціональний шлях у контексті переважного прагнення до підвищення енергоефективності. Таким чином, можна виділити ще одну експлуатаційну властивість, на яку впливає конструкція підвіски, - це енергоефективність автомобіля. З погляду на це, найкращим варіантом було б не повністю розсіювати енергію у вигляді тепла, а більшу частину її перетворювати і накопичувати її для подальшого використання. Ідея рекуперації енергії коливань у підвісці автомобіля цікавить багатьох дослідників. У 2009 році група студентів Массачусетського технологічного університету розробила конструкцію амортизатора, здатного перетворювати енергію поступального руху штока в електрику. За останніми даними, зараз Zahnrad Fabrik спільно з компанією Levant Power Corp., яка створена тими самими студентами Массачусетського технологічного університету, збираються налагодити виробництво подібних амортизаторів, а технологія отримала назву GenShock (рис.1). GenShock являє собою гідравлічний поворотний амортизатор, що перетворює вертикальні рухи поршня у обертальний рух гідравлічного двигуна. Конструкція включає поршень, призначений для зворотно-поступального руху в циліндрі при наїзді на перешкоду. Перший контур складається з першої камери в циліндрі в підпоршневому просторі, що з'єднаний з гідравлічним двигуном та ємністю. При стисканні поршня робоча рідина проходить через гідравлічний двигун, повертаючи його вал. Другий контур включає другу камеру, що являє собою надпоршневу частину циліндра і гідравлічно пов'язана з першою камерою. Електричний генератор підключається до валу гідравлічного двигуна виробляє електроенергію при його обертанні[1].

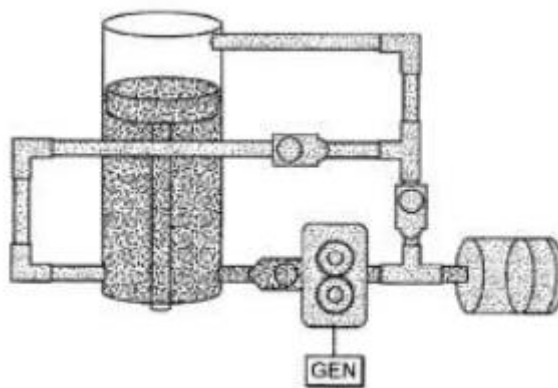


Рис. 1 – Гідравлічна схема рекуперативного амортизатора GenShock

Ідея рекуперації енергії коливань також реалізована у підвісці, що називається eROT, яка розроблена компанією Audi, що входить до концерну Volkswagen AG (рис. 2) [2]. Кінетична енергія, що виробляється при стисканні та розпрямленні пружини, буде спрямовуватися через плече важеля та трансмісію на генератор. Отримана електрична енергія накопичується в 48-вольтовій батареї. У тестах

вдалося отримати від 100 до 150 Вт – на бездоганному автобані цей показник становив лише 3 Вт, а на вибоїстій дорозі – 613 Вт. Виділення CO₂ знижується до 3 г на 100 км.

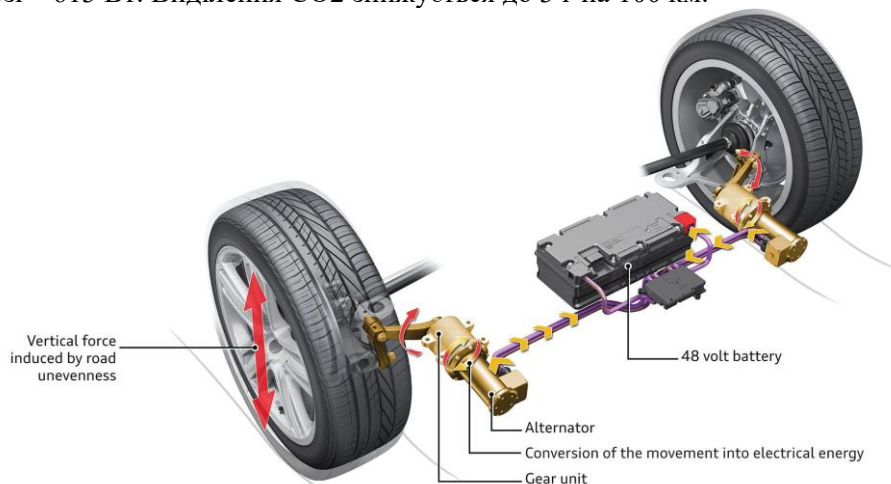


Рис. 2 – Принципова схема автомобільної підвіски eROT компанії Audi

Конструкції сучасних лінійних генераторів дозволяють використовувати їх як амортизатори в підвісці автомобіля. За результатами експериментів [3, 4], було виявлено, що середня потужність, що відводиться амортизатором, значно залежить від типу дорожнього покриття, швидкості руху і маси частин, коливання яких необхідно гасити. Стверджується, що навіть за мінімальних значень генерованої енергії (0,3...0,5 кВт-год на 100 км шляху) система забезпечує надійну роботу невеликих за потужністю споживачів у системі електропостачання автомобіля (обігрівачів, малопотужних кондиціонерів, вентиляторів, аудіоапаратури тощо). Найбільше значення генерованої енергії, згідно з результатами цих досліджень, склало 1,9 кВт-год на 100 км шляху з одного амортизатора, найбільше значення потужності для тягача, спорядженою масою 7 900 кг, у складі автопоїзда масою 36 100 кг склало 860 Вт з одного амортизатора, встановленого на задній осі тягача.

Звідси робимо висновок, що застосування системи, яка дозволяє здійснювати рекуперацію енергії коливань у підвісці, є досить перспективним для певних наземних транспортних засобів. Вона може дозволити реалізувати всі переваги адаптивної підвіски і до того ж генерувати додаткову енергію, що підвищує її ефективність. З урахуванням того, що деякі вітчизняні та зарубіжні дослідники займаються питанням рекуперації енергії в підвісці автомобіля і, що не дивно, основним аспектом їх досліджень є енергетична ефективність такої системи, варто також приділити увагу її впливу на такі експлуатаційні властивості автомобіля, як раніше зазначені плавність ходу, стійкість і керованість,

Пристрій існуючих зразків амортизаторів-генераторів, як правило, містить електрогенератор певної конструкції, і величина коефіцієнта демпфування такого амортизатора визначається саме цим елементом. Це створює широкі можливості щодо управління коефіцієнтом демпфування такого амортизатора. Питаннями, що пов'язані з алгоритмами управління активними і адаптивними підвісками, займаються багато дослідників, зокрема і вітчизняні. Відмінність полягає в тому, що керованим демпфувальним елементом в їх дослідженнях зазвичай є гідравлічний амортизатор. Рациональний закон управління для рекуперативної підвіски може бути не таким, як для активної підвіски з гідравлічними амортизаторами. Це в першу чергу пов'язано з втручанням ще одного аспекту, який необхідно враховувати під час вибору алгоритму управління для рекуперативної підвіски – це енергетичної ефективності. Крім цього є й інші відмінності: гідравлічний амортизатор здатний створювати тільки пасивні сили (сили тертя), у той час як під час управління електромагнітним амортизатором ми маємо можливість в деяких випадках не відводити від нього енергію, а підводити, що означає виникнення активних сил. Це можна використовувати як заміну пневматичної і пневмогідравлічної підвіски, якщо умови застосування автомобіля передбачають лише короточасну зміну дорожнього просвіту, а також використовувати цю властивість для поліпшення стійкості, керованості та плавності ходу. До того ж, це можна використовувати для реалізації такої системи, про яку йшлося вище, де колесо повторює профіль нерівностей. На перший погляд, це унеможливило рекуперацію енергії, однак це має суттєво знизити коливання кузова автомобіля на дорозі з значними нерівностями. При цьому, якщо при стисненні пружини (або іншого пружного елемента підвіски)

енергія буде підводитися, а при відбою - відводиться, то енергетичні втрати на роботу цієї системи будуть визначатися лише її коефіцієнтом корисної дії. Таким чином, можна підвищити енергоефективність шляхом зниження опору коченню. Питання тільки в тому, що переважить: втрати на роботу системи або вииграш від зниження опору коченню. Можливо, за певних умов, такий режим роботи виявиться ефективним, а в інших - ефективніше буде просто здійснити рекуперацію енергії без залучення активних сил, тобто не витрачаючи її на вертикальне переміщення колеса. До того ж, для кожного поєднання різних умов експлуатації необхідно враховувати вплив визначених характеристик на плавність ходу, стійкість та керованість, а іноді, і на прохідність.

Висновки

Результати проведеного аналізу свідчать про те, що задача створення алгоритму управління рекуперативною підвіскою є оригінальною, але одночасно і складною й актуальною. Встановлено, що система амортизації автомобіля здатна зберігати хоча б частину тієї енергії, яка раніше просто розсіювалася. Розроблення та удосконалення такої системи є дуже перспективним напрямком, і цілком ймовірно, що вона прийде на зміну традиційним гідравлічним амортизаторам. Однак за її розробки та впровадженні такі експлуатаційні властивості, як керованість, стійкість, плавність ходу і прохідність, повинні не просто залишитися на тому ж рівні - вони повинні поліпшитися і для цього є всі передумови. Необхідно просто правильно використовувати такі можливості, що відкриваються такою системою, тобто створити оптимальний алгоритм управління нею.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shakeel N. Avadhany analysis of hydraulic power transduction in regenerative roary scock absorbers as function of working fluid kinematic viscosity // S. B. Materials Science. Engineering Massachusetts Institute of Technology, 2009. – 29
2. Audi eROT suspension harvests energy as it rides the bumps [Електронний ресурс]. Режим доступу:<https://newatlas.com/audi-erot-electrical-suspension/44848/>
3. Amir Maravandi Design and Implementation of a Regenerative Shock Absorber // Thesis Submitted in Partical Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 2015. – 124 p.
4. Ruichen Wang, Fengshou Gu, Robert Cattley, Andrew D. Ball Modelling, Testing and Analysis of a Regenerative Hydraulic Shock Absorber System //Energies 2016, 9, 386. – 24 p.

Кудраш Віталій Олександрович – аспірант кафедри «Галузеве машинобудування», Вінницький національний технічний університет. e-mail: lisovoy844@gmail.com
Kudrash Vitaliy Alexandrovich – graduate student of department «Engineering breanch», Vinnitsa National Technical University, e-mail: lisovoy844@gmail.com

Науковий керівник

Поліщук Леонід Клавдійович, д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри «Галузеве машинобудування», e-mail: leo.polishchuk@gmail.com, 21021, Україна, Вінницька обл., м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Polishchuk Leonid K., doctor of engineering sciences, h Vinnitsa national technical university, head of department «Engineering breanch», , e-mail: leo.polishchuk@gmail.com, 21021, Vinnitsa, st. Khmelnytsky Highway, 95.