

О.О. ЯРИТА, В.О. ШАПОВАЛЕНКО

АНАЛІЗ АДАПТИВНИХ ПІДВІСОК ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПАСИВНУ БЕЗПЕКУ АВТОМОБІЛЯ

В роботі проаналізовано адаптивні підвіски різних автомобільних виробників, які дають змогу оцінити пасивну безпеку, плавність руху, пристосування до дорожнього покриття та контроль положення кузова. Для отримання та обробки інформації використовується складна схема з розташованими по всьому кузову датчиками, камерами та блоками керування. В цій статті представлено найновіші розробки у сегменті автомобільних систем та приведені приклади реалізації адаптивних підвісок для серійних автомобілів. Окремо проаналізовано пасивну безпеку автомобіля з використанням можливостей адаптивної системи керування підвіскою для кращого розподілення кінетичної енергії при боковому ударі.

Ключові слова: легковий автомобіль, адаптивна підвіска, пасивна безпека, керування, плавність руху, блок керування, стабілізатор, кінетична енергія.

O. YARITA, V. SHAPOVALENKO

ANALYSIS OF ADAPTIVE SUSPENSIONS AND THEIR IMPACT ON PASSIVE VEHICLE SAFETY

The work analyzed adaptive suspensions of various automobile manufacturers that allow to evaluate passive safety, smoothness of movement, adaptation to the road surface and control of body position. A complex scheme with sensors, cameras and control units located throughout the body is used to receive and process information. This article presents the latest developments in the segment of automotive systems and gives examples of the implementation of adaptive suspensions for production cars. The passive safety of the car was separately analyzed using the capabilities of the adaptive suspension control system for better distribution of kinetic energy in the event of a side impact.

Keywords: passenger car, adaptive suspension, passive safety, steering, smoothness of movement, control unit, stabilizer, kinetic energy.

Вступ. Розвиток нових технологій дав можливість впровадити в автомобіль нові системи, які зробили автомобіль технологічним. Сучасні автомобілі комплектуються різними видами підвісок іноді навіть для одного легкового автомобіля виробник пропонує декілька варіантів підвісок. Основна задача підвіски це забезпечити комфортабельність, а як саме це буде забезпечене не уточняється тому сьогодні в світі можна побачити велике різноманіття конструктивних особливостей, додаткових систем та матеріалів, які дають змогу забезпечити плавність руху та безпеку водію та пасажиром автомобіля.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Сучасні теорії автомобіля і систем автоматичноуправління, та накопичений досвід проектування і експлуатації підвіски дозволяють розробити нові автомобільні підвіски – активні або адаптивні. Такі підвіски здатні за 0,5 секунди змінювати свої властивості відповідно до зовнішніх умов, але вони досить дорогі і ними комплектуються в основному автомобілі преміум-класу.

Впровадження адаптивних підвісок сприяє підвищенню безліч експлуатаційних якостей автомобіля основними з яких являються: плавність ходу, комфортабельність, стійкість руху, довговічність. Активна підвіска надає можливості автоматичної компенсації заданого кліренсу, незалежно від навантаження на передню чи задню вісь; автоматичної компенсації крену кузова у випадку нерівномірного завантаження; зменшення кліренсу при збільшенні швидкості руху автомобіля; можливість налаштування підвіски в ручному режимі [1-3]. Дуже важливим фактором являється безпека такої складної системи як адаптивна підвіска. В більшості наукових статей дослідники спрямовують вектор погляду на комфорт для водія та пасажирів, далі в залежності від функцій транспортного засобу підіймається питання керованості автомобіля. Що стосується пасивної безпеки автомобіля з такою підвіскою, цим

питанням почали задаватись нещодавно коли функціонал адаптивної підвіски дав можливість впливати на безпеку водія та пасажирів.

Мета та постановка задачі. Метою даної роботи є проведення аналізу адаптивних підвісок автомобілів, які випускаються серійно та їх вплив на пасивну безпеку водія та пасажирів. Для того щоб досягнути поставленої мети необхідно проаналізувати функціональні можливості тієї чи іншої системи адаптивної підвіски, розглянути параметри роботи елементів підвіски та розглянути додаткові системи які впливають на функціонування адаптивної системи підресорювання.

Адаптивна пневматична підвіска з електромеханічною стабілізацією крену. Активна підвіска Audi – це електромеханічна система підвіски. Вона може збільшувати або зменшувати навантаження на кожному колесі окремо, щоб за потреби пристосуватись до дороги. Це означає, що система може активно контролювати положення кузова автомобіля в будь-якій ситуації під час руху.

Пружини, амортизатори та стабілізатори поперечної стійкості для осей звичайної конструкції розроблені відповідно до особливих умов, для яких використовується автомобіль. Ці системи, які не можуть змінюватися під час руху автомобіля, завжди є компромісом. Можливості використання автомобіля обмежені. Крім того, існує конфлікт між проектуванням компонентів з акцентом на динамічне водіння або на комфорт. Ходова частина, призначена для спортивного водіння, не може запропонувати комфорту, який може забезпечити ходова частина, призначена для комфорту[2-3].

І навпаки, транспортний засіб із ходовою частиною, розробленою для комфорту, не зможе запропонувати динаміку водіння. Крім того, поведінка самостійного керування транспортним засобом визначається співвідношенням між фіксованими стабілізаторами поперечної стійкості на передній і задній осях. Залежно від конструкції стабілізаторів поперечної стійкості автомобіль буде мати недостатню, надмірну або майже нейтральну керованість під час руху. У минулому поряд з амортизаторами використовувалися пружини з прогресивними швидкостями, демпферні характеристики яких змінювалися в залежності від ходу пружини. Однак це також означало відсутність можливості реагувати на зовнішні умови чи побажання водія шляхом цілеспрямованого регулювання пружини та амортизаційних сил.

Завдяки опції зміни обсягу повітря в пневматичних ресорах можна досягти різної висоти автомобіля. Якщо висота автомобіля залишається незмінною, зміна навантаження автомобіля викликає відповідні зміни тиску повітря в пневматичних ресорах. У результаті власна частота кузова автомобіля залишається майже незмінною, незалежно від навантаження. У результаті водій не помічає суттєвих змін комфорту автомобіля та динаміки водіння, навіть якщо змінюється навантаження.

Оскільки повітря стискається, потрібен короткий проміжок часу між тим, як насос починає подавати, і коли можна виміряти збільшення об'єму в пневматичних пружинах. Тому зміни рівня транспортного засобу/вертикальних сил не можуть відбуватися в реальному часі. Крім того, неможливо ініціювати сили в протилежному напрямку; тобто щоб колесо «тягнуло» кузов автомобіля [4].

Адаптивна пневматична підвіска з електромеханічною стабілізацією крену вперше була запропонована як опція для Audi SQ7. За допомогою електромеханічних елементів управління жорсткість на кручення стабілізаторів поперечної стійкості на передній і задній осях можна змінювати окремо. Елементи управління з'єднують «половинки» стабілізатора поперечної стійкості на одній осі і натягують їх один на одного з відповідно регульованими зусиллями. В результаті можна збільшити опору, яку забезпечують зовнішні колеса в поворотах, що ефективно обмежує нахил кузова автомобіля (рис. 1).

Крім того, на поведінку самостійного керування транспортним засобом впливає досягнення певного співвідношення між жорсткістю стабілізаторів поперечної стійкості на

передній і задній осях. Зв'язок, що передає зусилля між колесами на осі через стабілізатор поперечної стійкості, може бути зведений до мінімуму, але прикладення зусиль через відповідну зміну жорсткості завжди відбувається по черзі на обох колесах осі одночасно.

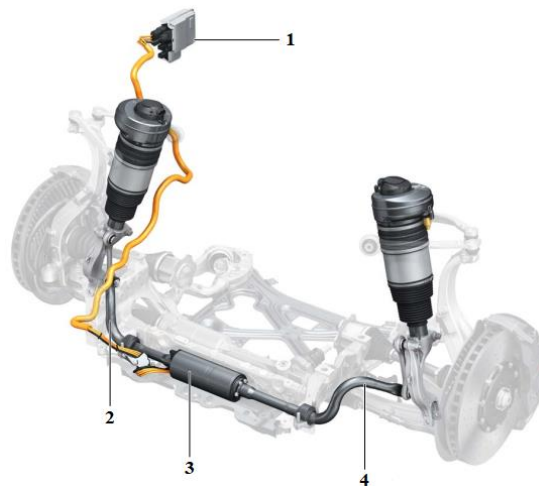


Рис. 1 – Адаптивна пневматична підвіска з електромеханічною стабілізацією крену: 1 – модуль керування стабілізацією коливання; 2 – стабілізатор поперечної стійкості який постійно з'єднаний с приводом; 3 – актуатор стабілізації передньої підвіски; 4 – половина стабілізатора поперечної стійкості прикручена до приводу болтами нерозбірним з'єднанням.

Принцип роботи системи активної підвіски можна зобразити на основі електромеханічної стабілізації крену. На системі стабілізації крену стабілізатор поперечної стійкості розділений на дві складові. Два компоненти з'єднані електромеханічним приводом. Цей привід натягує два компоненти один відносно одного, що спричиняє збільшенню крутного моменту, а отже, і вертикальних сил, які діють на осі кузова автомобіля, із збільшенням натягу. Для регулювання окремих коліс дві половинки стабілізатора поперечної стійкості на активній підвісці не з'єднані. Кожна «половинка» стабілізатора поперечної стійкості натягується окремим приводом. Приводи приводяться в рух електродвигунами. Порівняно з гідравлічною системою, електричний привід значно компактний та потребує менше енергії. Електродвигуни активуються одним модулем управління стабілізацією підвіски на вісь.

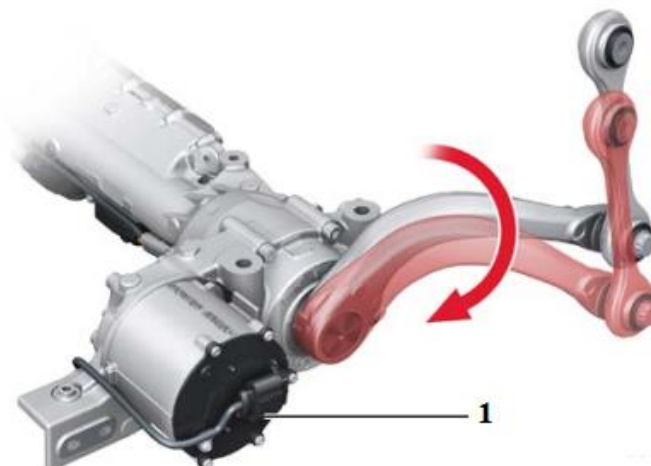


Рис. 2 – Активний стабілізатор крену: 1 – електромотор.

З'єднувальна тяга з'єднана з верхнім підшипником на стрижні амортизатора переднього моста і на верхніх поперечних тягах заднього моста. Нижній підшипник тяги з'єднаний з важелем. Кінець важеля за формою прилягає до торсіона. Цей торсіон має довжину 400 міліметрів та товщину 22 міліметри і незважаючи на його високу міцність, його можна скрутити більше ніж на 20 градусів. Інший кінець торсіонної тяги за формою прилягає до кінця торсіонної трубки. Трубка крутного моменту утворює продовження виходу приводу гармонічної передачі. Вхідний вал цієї передачі з'єднаний з ротором електродвигуна через зубчастий ремінь. Потужність передається від електродвигуна через зубчастий ремінь до гармонічної передачі, звідки через торсіонну трубку, торсіон і важіль виводиться на сполучну тягу (рис. 3).

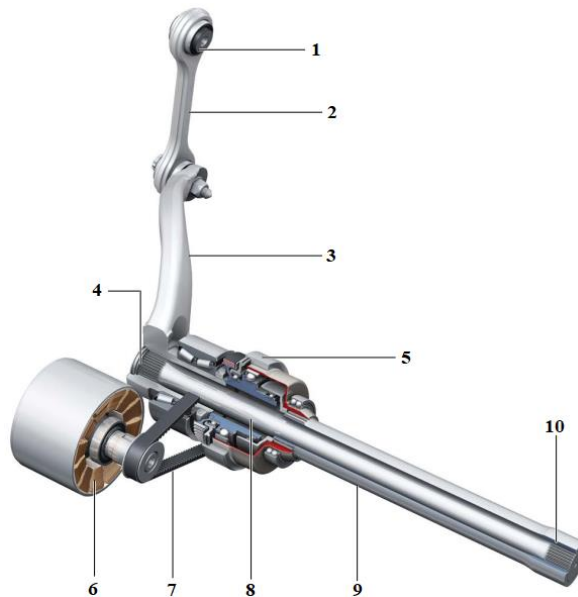


Рис. 3 – Конструкція електромеханічного стабілізатора крену: 1 - підшипник; 2 – верхня тяга; 3 – нижня тяга; 4 – торсіон; 5 – приводний механізм; 6 – електромотор; 7 – зубчастий ремінь; 8 – торсіонна штанга; 9 – торсіонна трубка; 10 – сполучна тяга.

Привід забезпечує крутний момент на виході приводу 1100 Нм; максимальне зусилля на з'єднувальних тягах становить 5,0 кН на передній осі та 4,5 кН на задній осі. Кути важеля $\pm 42^\circ$ можна встановити з нульового положення. Кузов автомобіля можна підняти 85 мм від центрального положення по всіх чотирьох кутах лише за 0,5 секунди.

Гармонійний привід — це система передачі хвилі деформації, яка використовується скрізь, де потрібні нульовий люфт, точність і висока надійність. Вона ідеально підходить для роботи приводів системи активної підвіски. Як основний компонент, вони передають обертання електродвигуна на відносно малі кути обертання та високий крутний момент на торсіонну трубку / торсіон, які перетворюються на вертикальний рух з'єднувальної тяги. Гармонічні приводи широко використовуються в роботизованих пристроях через їх точність (відсутність люфту), надійність і тривалий термін служби.

Комплекти компонентів гармонійного приводу складаються лише з трьох компонентів: генератора хвиль, гнучкої втулки та круглого вінця. Генератор хвиль еліптичної форми є веденим елементом набору передач і має спеціально розроблені кулькові підшипники. Гнучка втулка — це високоміцний, жорсткий на кручення, але гнучкий оболонковий компонент із зовнішніми зубцями, який надійно передає високі навантаження.

Зовнішнє кругле зубчасте колесо має внутрішні зуби. Встановлюється поверх гнучкого рукава. Жорстка зубчаста коронка має на два зуби більше, ніж у гнучкої шліцьової шестерні (рис. 4).

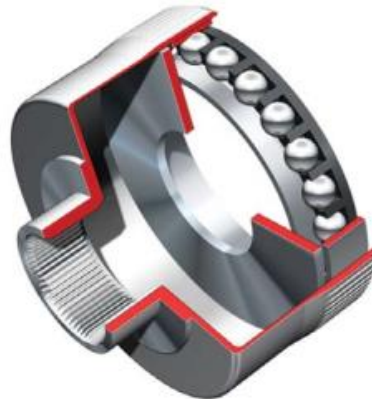


Рис. 4 –Гармонійний привід

Джерелом приводу для приводу є двигун змінного струму на 48 вольт, з'єднаний зіркою, з п'ятьма парами полюсів і електронною комутацією (безщітковий). Максимальна потужність двигуна приблизно 2,0 кВт; однак це потрібно лише на короткий час протягом кількох мілісекунд. Середня необхідна потужність є відносно низькою і становить приблизно від 10 до 200 Вт, залежно від стилю водіння та дорожніх умов.

Електродвигуни активуються для кожної осі окремими модулями керування. Модулі керування отримують живлення 12 В, що дає змогу брати участь у мережевій системі автомобіля, і джерело живлення 48 В для шляху живлення.

Модулі керування стабілізацією підвіски керуються модулем керування приводом. Вони спілкуються через систему підшини. Модулі управління встановлені між приводами на підрамниках переднього і заднього мостів. Вони встановлюються врівень з оточуючими компонентами, що забезпечує зовнішній захист.

Регулювання показників стабілізації, пневматичних подушок і амортизаторів тісно пов'язане. Система пневматичної ресори бере на себе завдання збалансування навантаження та здійснення як ручних, так і автоматичних змін до заданого рівня автомобіля. Під час розрахунку сил демпфування враховується демпфування, необхідне за рахунок приводів. Модуль керування приводом розраховує крутний момент, з яким торсіон має бути натягнутий для кожного колеса окремо та майже в режимі реального часу. Цей крутний момент відповідає визначеному куту повороту на виході гармонічного ведучого механізму.

Ці кути надаються як керуючі входні дані для модулів керування стабілізацією підвіски для передньої та задньої осей. Модулі управління досягають цих положень шляхом активації електродвигунів приводів. Виміряні значення датчиків положення ротора є основою для визначення кутів. Загальне відношення кута повороту ротора до кута повороту на виході ведучої шестерні становить 189:1 (пасова передача ротора – вхід ведучої шестерні: 1:2,36: вхід ведучої шестерні – вихід ведучої шестерні: 80:1). Це означає, що ротор електродвигуна повинен обертатися 189 разів, щоб зробити один оберт на виході приводу.

Основою для розрахунку необхідної сили зчеплення/натягу торсіонів є налаштування режимів підвіски Audi, вибране водієм, і відповідний стан руху або динаміка автомобіля, визначена відповідними датчиками. Крутні моменти вимірюються відносно осі x (моменти крену), осі y (моменти нахилу) і осі z (моменти повороту). Крутні моменти повороту використовуються для оцінки бокового прискорення; потім ці цифри порівнюються з вимірними значеннями модуля керування подушкою безпеки. Спеціальне програмне забезпечення визначає швидкість автомобіля. Рівень автомобіля визначається, як і з адаптивною пневматичною підвіскою, чотирма окремими датчиками рівня. Вертикальні

переміщення кузова автомобіля вимірюються датчиком прискорення, який також є частиною блоку керування ходовою частиною.

Під час активної роботи приводи завжди живляться струмом. У кожній операції керування є фази електродинамічного демпфування. Тоді постійно збуджені ротори електродвигунів «приводяться в рух». Створені в результаті обертів магнітні поля індукують електричну напругу в котушках статора. Генеровані електричні струми використовуються для рекуперації 48-вольтової батареї. Максимальна рекуперація становить приблизно 3 кВт; однак це може бути ефективним лише дуже короткий проміжок часу.

Адаптивна пневматична підвіска з електромеханічною стабілізацією крену окрім плавності руху, зменшення кренів кузова має дуже важливу перевагу яка стосується пасивної безпеки.

Незважаючи на численні захисні системи, у разі дорожньо-транспортної пригоди не можна виключати травмування пасажирів. Бічні зіткнення залишаються більш травматичними для водія та пасажирів ніж фронтальні зіткнення. Основною причиною цього є відносно малий простір для деформації між пасажирами транспортного засобу на стороні зіткнення та зовнішньою частиною автомобіля. Конструктивні елементи між ними повинні поглинати кінетичну енергію удару. Залежно від сили удару елементи конструкції можуть деформуватися в напрямку салону автомобіля.

Зона навколо автомобіля контролюється чотирма кутовими радарними датчиками. Модуль керування системами допомоги водієві оцінює ці дані.

Залежно від ситуації він визначає потенційний ризик транспортного засобу, який наближається збоку. Він розраховує критичність (числове значення, яке представляє потенційний ризик від автомобіля, що наближається) і очікуваний час до зіткнення (рис. 5). Ця інформація надсилається до модуля керування подушками безпеки, який у разі необхідності ініціює наступні дії. У рамках цього модуль керування приводом має підняти автомобіль на випадок зіткнення. Якщо відповідний об'єкт/транспортний засіб більше не знаходиться в зоні виявлення, запит скасовується модулем керування подушками безпеки, і транспортний засіб повертається на початковий рівень. Якщо трапляється менш поширений випадок, коли транспортний засіб на курсі зіткнення повертає, транспортний засіб знову опускається через певний проміжок часу. Функція зіткнення також активна в режимі буксирування з незмінними параметрами.

Щоб функція зіткнення була активована за потреби, усі двері, кришки багажника та капота мають бути закриті, а транспортний засіб має перевищити швидкість 8 км/год. У разі неминучого бічного зіткнення на швидкості понад 25 км/год приводи підвіски піднімають кузов із сторони де виявлена небезпека на 80 міліметрів за 0,5 секунди. У результаті зіткнення енергія удару буде спрямована на бічні пороги та конструкцію підлоги. Навантаження на пасажирів зменшується на 50 відсотків порівняно з боковим ударом, коли кузов не піднятий.



Рис. 5 – Бокове зіткнення з функцією краш-підйому

Функція більше не активна, коли двері відкриті. Функція зіткнення також вимикається, якщо вимкнено електронну систему стабілізації [7-8].

Гідропневматична підвіска з електронним керуванням. Перша завершена і підготовлена до виробництва версія цієї підвіски була представлена в 1999 році на флагманській моделі Mercedes-Benz. У цьому дослідженні береться до уваги автоматична механічна система з інтелектуальним контролем, під час руху по дорожніх нерівностям транспортний засіб зазнає поперечних та поздовжніх коливань кузова, система дає змогу мінімізувати ці коливання кузова, а також коливання повинні швидко розсіюватися [5-7].

Класична пружинна підвіска, може забезпечити лише розумний комфорт їзди або хороше зчеплення з дорогою, оскільки ці 2 критерії конфліктують один з одним і вимагають абсолютно різних характеристик пружин і амортизаторів[6]. У той час як напівактивна підвіска з їх змінними характеристиками демпфування та низьким енергоспоживанням, та додатковими системами керування підвіскою забезпечує суттєве покращення в керуванні транспортним засобом.

У гідропневматичній підвісці з електронним керуванням E-ActiveBodyControl (ABC) комп'ютер фіксує рух кузова за допомогою датчиків, розташованих по всьому автомобілю, і керує дією активної підвіски за допомогою гідравлічних сервомеханізмів. Гідравлічний тиск 200 бар до сервоприводів подається радіально-поршневим гідравлічним насосом високого тиску. Акумулятори регулюють гідравлічний тиск за допомогою закритої азотної сфери, відокремленої від гідравлічної рідини мембраною (рис. 6).

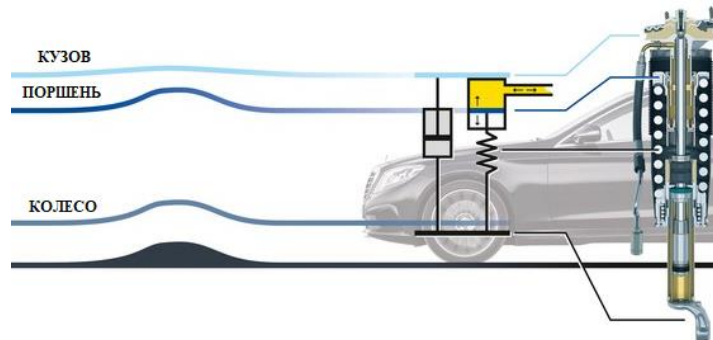


Рис. 6 – Система MagicBodyControl

Загалом 13 датчиків безперервно контролюють рух тіла та рівень автомобіля та передають контролеру ABC нові дані кожні десять мілісекунд. Чотири датчики рівня, по одному на кожному колесі, вимірюють кліренс автомобіля, три акселерометри вимірюють вертикальне прискорення кузова, один датчик прискорення вимірює поздовжнє та один датчик — поперечне прискорення кузова. Коли контролер ABC отримує та обробляє дані, він керує чотирма гідравлічними сервоприводами, кожен з яких встановлено на пневматичній опорі гідравлічної рідини під тиском, біля кожного колеса (рис. 7).

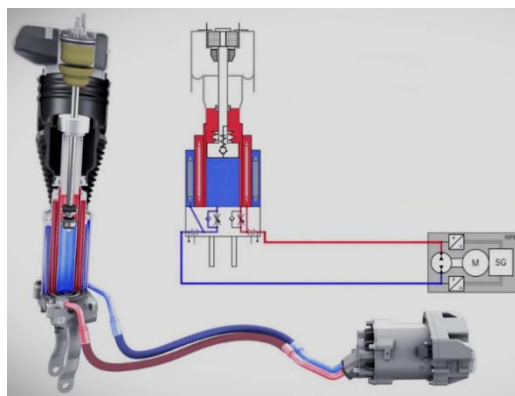


Рис. 6 – Сучасна підвіска E-ActiveBodyControl з гідравлічним сервоприводом

Система складається з трьох основних компонентів: гідравлічного насоса з внутрішнім редуктором, синхронного двигуна з постійним магнітом в якості електродвигуна і блоку управління 48 В.

Майже миттєво серворегульована підвіска генерує протидіючу силу до нахилу кузова автомобіля, пірнання та присідання під час різних маневрів водіння. Між кузовом автомобіля і колесом розташована амортизаційна стійка, що складається з паралельно з'єднаних сталевих гвинтової пружини і амортизатора, а також регульовального циліндра з гідравлічним керуванням. Важливою частиною системи є моторно-насосний агрегат (МРЕ) з вбудованою електронікою управління підвіскою. Ці компоненти регулюють циліндр у напрямку амортизаційної стійки та змінюють довжину підвіски. Це створює силу, яка діє на підвіску та амортизацію автомобіля в діапазоні частот до п'яти герц.

Система також включає регульовану по висоті підвіску, яка в цьому випадку опускає транспортний засіб до 11 міліметрів між швидкостями 60–160 км/год для кращої аеродинаміки, витрати палива та керованості.

Система також дозволяє використовувати самовирівнювальну підвіску, яка піднімає або опускає транспортний засіб у відповідь на зміну навантаження (тобто завантаження або вивантаження пасажирів або вантажу).

Аналогічно до адаптивної пневматичної підвіски з електромеханічною стабілізацією крену, система E-ActiveBodyControl дає можливість у випадку бокового удару підняти кузов автомобіля на 8 міліметрів від нульового положення кузова. Адаптивна пневматична підвіска з електромеханічною стабілізацією Audi підіймає кузов тільки зі сторони удару завдяки датчикам які слідкують за безпекою навколо автомобіля, Система E-ActiveBodyControl підіймає повністю весь кузов вертикально вгору. Але дуже мало більш детальної інформації що до цієї системи.

Висновки. Впровадження адаптивних підвісок сприяє підвищенню безліч експлуатаційних якостей автомобіля основними з яких являються: плавність ходу, комфортабельність, стійкість руху, довговічність. На даний момент тему активної підвіски розвивають тільки декілька автомобільних виробників. Найбільш передовими являються дві системи, це адаптивна пневматична підвіска з електромеханічною стабілізацією крену та гідропневматична підвіска з електронним керуванням. Ці системи дають можливість впливати на характеристики пасивної безпеки покращивши поглинання кінетичної енергії на 50% шляхом підняття кузова на 80 міліметрів. Стосовно пасивної безпеки ці системи на даний момент не являються серійними, а лише прототипами які ми можемо побачити тільки на тестових полігонах. З впевненістю можна сказати що це майбутнє адаптивних підвісок.

Список літератури:

1. Abdalla, M.O., N. AlShabatat. Linear matrix inequality based control of vehicle active suspension system. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanic sand Mobility* 2009, 47(1): 121-134;
2. Chen, S.Z. Magnet orheological Semi-Active Suspension Demonstration for Off-Road Vehicles. *Advanced Science Letters* 2012, 12(1): 1-6;
3. Collette, C. and A. Preumont. High frequency energy transfer in semi-active suspension. *Journal of Sound and Vibration* 2010, 329 (22): 4604-4616;
4. Riduan AFM, Tamaldin N. Review on active suspension system. *SHS Web of Conferences*, vol. 49, EDP Sciences; 2018, p. 02008;
5. Goodarzi A, Khajepour A. Vehicle suspension system technology and design. *Synthesis Lectures on Advances in Automotive Technology* 2017;1:i-77;
6. Dishant E, Singh P, Sharma M. Suspension systems: A review. *International Research Journal of Engineering and Technology* 2017;4:148-160;

7. Palangsavar N, Mamouri AR. Stability investigation of hydraulic interconnected suspension system of a vehicle with a quaternion neural network controller. Iranian Journal of Mechanical Engineering Transactions of the ISME 2019;20:129–151;
8. Moheyldein M, Abd-El-Tawwab AM, El-gwwad KA, Salem M. An analytical study of the performance indices of air spring suspensions over the passive suspension. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences 2018;7:525–534.

References (transliterated):

1. Abdalla, M.O., N. Al Shabatat. Linear matrix in equality based control of vehicle active suspension system. Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility 2009, 47(1): 121-134;
2. Chen, S.Z. Magnet rheological Semi-Active Suspension Demonstration for Off-Road Vehicles. Advanced Science Letters 2012, 12(1): 1-6;
3. Collette, C. and A. Preumont. High frequency energy transfer in semi-active suspension. Journal of Sound and Vibration 2010, 329 (22): 4604-4616;
4. Riduan AFM, Tamaldin N. Review on active suspension system. SHS Web of Conferences, vol. 49, EDP Sciences; 2018, p. 02008;
5. Goodarzi A, Khajepour A. Vehicle suspension system technology and design. Synthesis Lectures on Advances in Automotive Technology 2017;1:i–77;
6. Dishant E, Singh P, Sharma M. Suspension systems: A review. International Research Journal of Engineering and Technology 2017;4:148–160;
7. Palangsavar N, Mamouri AR. Stability investigation of hydraulic interconnected suspension system of a vehicle with a quaternion neural network controller. Iranian Journal of Mechanical Engineering Transactions of the ISME 2019; 20:129–151;
8. Moheyldein M, Abd-El-Tawwab AM, El-gwwad KA, Salem M. An analytical study of the performance indices of air spring suspensions over the passive suspension. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences 2018;7:525–534.

Надійшла (received) 14.12.2022 р.

Відомості про авторів/ About the authors

Яри́та Олександр Олександрович (Yaryta Oleksandr) – кандидат технічних наук, доцент, Хаківський національний автомобільно дорожній університет, кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4948-6577>; e-mail: aleks.yarita@gmail.com

Шаповаленко Владислав Олексійович (Shapovalenko Vladislav) – асистент, Хаківський національний автомобільно дорожній університет, кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5770-0740>; e-mail: vladislav-shapovalenko@ukr.net