

Поляков¹ В. М., Мурований² І. С., Разбойніков¹ О. О.

¹ *Національний транспортний університет*

² *Луцький національний технічний університет*

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ ПІДВІСОК АВТОМОБІЛЯ

Проведений аналіз розвитку конструкцій підвісок автомобіля. Розглянуті найбільш розповсюджені конструкції підвіски автомобіля за весь час її існування. Особлива увага приділялась мехатронним автомобільним підвіскам.

На основі аналізу розвитку конструкцій підвісок автомобіля виявлено, що лише з використанням мехатронних систем та подальшої організації керування робочими процесами в автомобільній підвісці можливо зосередити увагу на поліпшенні показників плавності ходу, стійкості та керованості одночасно.

Розглянуто сучасні тенденції керування робочими процесами підвіски до наїзду на дорожнє збурення. Відзначено, що характер взаємодії колеса з опорною поверхнею визначається критеріями мінімального динамічного навантаження на дорожнє покриття та автомобіль в цілому, починаючи з автомобільної шини і закінчуючи несучою системою автомобіля, що збільшує довговічність ходової частини, шини та дорожнього одягу.

Ключові слова: стійкість руху, керованість, плавність ходу, активна підвіска, півактивна підвіска

Постановка проблеми. Підвіска автомобіля безпосередньо впливає на плавність ходу, керованість, стійкість, прохідність та інші експлуатаційні властивості, а також на безпеку руху та ефективність використання автомобіля. Однак, історично склалося, що поліпшення певної експлуатаційної властивості (наприклад, керованості) супроводжується погіршенням іншої (наприклад, плавності ходу) і навпаки. Перебуваючи під тиском цього протиріччя, конструкція підвіски постійно еволюціонувала, залишаючи за собою різноманітні конструктивні рішення. Інформаційні джерела виділяють певні шляхи подальшого розвитку конструкцій підвісок, але для визначення пріоритетного напрямку необхідні додаткові дослідження.

Аналіз досліджень і публікацій. Підвіска автомобіля призначена для зменшення динамічних навантажень під час передачі сил, що виникають в контактній зоні шини з опорною поверхнею.

У загальному випадку, підвіска складається з пружного, напрямного та гасильного пристроїв, а також, іноді до складу включають стабілізатор підвіски.

Аналіз розвитку конструкцій підвісок автомобіля - складний процес, в якому переплітаються особливості еволюції всіх складових підвіски, а з 50-х років цей процес ускладнився впровадженням в підвіску автомобіля електронних систем. Аналізу конструкцій підвіски автомобіля присвячені роботи [1 - 9, 11 - 19, 23, 25 - 27], її мехатронним системам [1, 8, 9, 11, 14 - 19, 25 - 27].

Разом з тим, недостатньо сукупної інформації про еволюцію конструкції підвіски за весь час її існування.

Мета дослідження, постановка задачі.

Метою роботи є проведення аналізу еволюції конструкцій автомобільних підвісок та визначення пріоритетного напрямку їх подальшого розвитку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Передісторія підвіски автомобіля, як і її назва, бере свій початок з X ст., коли кузов кінних екіпажів підвісили на шкіряних ременях до рами возу [1]. Цим шкіряним «підвісом» вагу карети було розподілено на дві частини: підресорену та непідресорену, що зменшило динамічне навантаження, і, як наслідок, сприяло поліпшенню комфортабельності та зменшенню загальної ваги карети. Однак, підвіска кузова на шкіряних ременях мала недостатню бокову, поперечну та кутову жорсткості, що сприяло небажаному ефекту «колискової». До того ж, м'які ремені не витримували динамічного навантаження, що виводило кінний екіпаж з ладу.

В XVIII ст. підресорену масу карети обладнали сталевими ресорами [1], проте, термін «підвіска» закріпився за цим конструктивним елементом не зважаючи на те, що підвіс карети вже не використовувався.

Розвиток конструювання автомобільної підвіски почався з пошуку конструктивних схем, тому не випадково перші підвіски відрізняються своєю різноманітністю (наприклад, Daimler Stahlradwagen 1889 р. передні колеса закріплені у вилках велосипедного типу).

Впровадження пневматичної шини призводить до значного зростання швидкостей руху автомобілів. Виникла необхідність в надійній та простій у виробництві підвісці. Цим вимогам відповідала конструкція підвіски на двох повздовжніх півеліптичних ресорах [2].

Перша конструкція залежної ресорної підвіски з'явилася в 1896 – 1897 рр. [2]. Враховуючи внутрішнє механічне тертя та сприйняття зусиль в трьох напрямках, ресору використовують не тільки в якості пружного, а й в якості напрямного та гасильного пристроїв [3]. Цей економічно-вигідний тип підвіски забезпечує постійність кутів встановлення коліс [4]; маючи дві точки опори, зменшує навантаження на кузов, уможливаючи зменшення його маси [5]. Недоліками такого типу підвіски вважають: взаємозалежність коліс осі [4, 5], піддатливість в боковому напрямку, що призводить до погіршення зчеплення колеса з опорною поверхнею на поворотах [2, 5], а також, характерний S - подібний вигин ресори внаслідок дії повздовжніх сил, які виникають в контактній шини з опорною поверхнею [3, 6].

В 1900 р., вирішуючи питання поліпшення плавності ходу автомобіля, було збільшено довжину ресори - це змусило винести її кінець за радіатор, що збільшувало габаритну довжину автомобіля [2].

В 1904 р. з'явилася незалежна підвіска з поперечно розміщеними ресорами, яка була компактнішою в порівнянні зі своєю попередницею. Недоліки такої конструкції: значне навантаження на вушка ресори, обмеження довжини ресори шириною колії автомобіля [2].

Постійне зростання потужностей двигунів та швидкостей руху автомобілів, а також непідресореної маси (збільшення шин та встановлення передніх гальм), призводить до нового етапу розвитку конструкцій підвісок автомобіля. Постало питання поліпшення точності роботи системи рульового управління, надійності контакту колеса з опорною поверхнею, ліквідування шиммі передніх коліс, а також збільшення місткості кузова без збільшення габаритних розмірів (підвіска над якою можливе розміщення двигуна, не збільшуючи бази автомобіля та не погіршуючи його прохідність). В середині 20-х років конструктивним рішенням була незалежна свічна підвіска з циліндричною пружиною та демпфером, що об'єднані в одному модулі [2]. До переваг свічної підвіски відносять: сталість кінематичних параметрів підвіски, відсутність гіроскопічного моменту, а також зменшення загальної ваги автомобіля (особливо непідресореної) [7, 2]. До недоліків відносять: високу точність при виготовленні, велика кількість деталей тертя, ненадійний захист від навколишнього середовища, що сприяє зношуванню [2]. Однак, на основі практичних спостережень наявність недоліку швидкого зносу напрямних частин не підтверджується [7]. Свічна підвіска була визнана кращою конструкцією підвіски автомобіля того часу, незважаючи на її вартість [8].

Було випущено декілька різноманітних конструкцій підвісок з роз'ємними осями, які у порівнянні із залежними підвісками забезпечували значно вищий рівень безпеки руху на високих швидкостях. Проте, виявились і недоліки таких підвісок. Виробництво свічних підвісок, наприклад, супроводжувалось значними витратами та потребою у висококваліфікованому персоналі і високоточному обладнанні. Деякі конструкції рами незалежних підвісок мали дуже складні форми, при цьому вплив кінематичної схеми підвіски на бічне відведення та стійкість, ще не розглядався [2]. Широко використовуються гідравлічні демпфери, що поступово витісняють до середини 1920-х р. демпфери сухого тертя [9].

В 1930 - х роках найбільше розповсюдження отримали незалежні підвіски на двох поперечних півеліптичних ресорах, або поперечної півеліптичної ресори в комбінації з важелями. Легкість виробництва ресор, зручність кріплення до рами автомобіля та мала кількість шарнірів – основні переваги ресорної підвіски. Однак, вимагалась висока бічна жорсткість ресори та точність утримування колеса в шарнірі вушка ресори. Відомо, що ресори не могли в повній мірі відповідати цим вимогам [2]. Крім того, порушувалась ширина колії автомобіля, що негативно відображається на його керованості, особливо на великих швидкостях [7].

Для підвищення рівня зчепних якостей коліс з опорною поверхнею необхідно було зменшити непідресорену масу. В 1930 - х роках задня підвіска De Dion вирішує поставлену задачу за рахунок роз'єднання головної передачі від балки коліс. Такий тип підвіски використовувався на спортивних автомобілях протягом багатьох років. На сьогодні, підвіску De Dion можна зустріти на автомобілі Mercedes Smart 1998 [1].

Спостерігається подальше масове розповсюдження незалежної підвіски. Вперше в 1936 році з'являється підвіска із шворнем, що жорстко закріплений на передній поперечині рами. Ця підвіска була порівняно легкою, її основний недолік - недостатня бічна жорсткість. Пружний елемент - циліндрична пружина або стержень що скручується «торсіон» [2]. Торсіон розміщується як поперечно, так і поздовжньо [7]; компактний, проте, дорогий, тому зустрічається рідко [1].

Поперечно-важільна підвіска з циліндричною пружиною, що сприймає вертикальне навантаження, позбулась основних недоліків своїх попередниць. Підбором довжини та взаємного положення важелів можливо досягти мінімальної зміни колії, при цьому зміна розвалу коліс залишається в межах допустимого [2], що позитивно відображається на керованості автомобіля [7].

До цього часу основна увага приділялась поліпшенню плавності ходу, що досягалося використанням більш м'яких пружних елементів. В зв'язку з цим, для збереження рівня показників плавності ходу та достатньої поперечної стійкості руху, в систему підвіски автомобіля ввели додатковий стержень що скручується при кутових коливаннях кузова (стабілізатор поперечної стійкості) [2].

В легкових автомобілях 1940-х років нові кінематичні схеми не зустрічаються [2], спостерігається подальше розповсюдження гідравлічних амортизаторів [10]. Характеристика автомобільної підвіски, як і раніше, визначалася на стадії проектування пружною характеристикою механічного пружного елемента, коефіцієнтом демпфування гасильного пристрою та кінематикою напрямного.

Необхідно було отримати нове конструктивне рішення (особливо для вантажних автомобілів) при якому підвіска мала б нелінійну пружну характеристику. В 1959 р. з'являються перші гвинтові пружини з прогресивною характеристикою [1]. Однак, таке рішення було малоефективним при зміні статичного навантаження в широких межах [2].

В 50-х роках в якості пружного елемента почали використовувати стиснений газ. Пневматичну підвіску з її перевагами (прогресивна пружна характеристика, регулювання рівня кузова, високий рівень комфортабельності [5]) в 60-роках починають все частіше використовувати на автобусах і вантажівках. Такий тип підвіски на легкових автомобілях використовувався лише на Mercedes-Benz 600 з 1963 року [6].

Для легкових автомобілів більш доцільна гідропневматична підвіска, яку вже в 1953 році можна зустріти на автомобілях Citroën GS [5]. Її переваги: компактність, високий рівень комфортабельності, можливість регулювання рівня кузова, а також можливість автоматичного переходу підвіски з одного режиму роботи в інший з різко збільшеною енергоємністю. З появою гідропневматичної підвіски, в підвіску автомобіля було впроваджено першу електронну систему [11]. Проте, гідропневматична підвіска працює під високим тиском, при цьому необхідна повна герметизація зазору рухомого з'єднання та подолання виникаючої в ньому механічної сили тертя, що значно ускладнює умови створення надійного та довговічного з'єднання [12].

В 60-х роках спостерігаються наступні тенденції: подальшого поліпшення стійкості руху автомобіля (розповсюдження незалежних задніх підвісок, зниження центрів крену кузова), подальше зменшення невідвісаних мас, зменшення жорсткості підвіски, поліпшення комфортабельності, спрощення обслуговування [13]. Разом з тим, постійно вдосконалюються кінематичні особливості вже існуючих напрямних пристроїв [5, 6]. Наприклад, щоб позбутись крутильних коливань осі та додаткових навантажень, які виникають під час S- подібної деформації ресори, водять додаткові напрямні важелі, однак, технічно доцільнішим рішенням, хоча й дорожчим, було б сприйняття вертикальних сил гвинтовими пружинами, а бічні – тягою Панара, або механізмом Уатта [5].

На передньопривідних автомобілях широко використовується незалежна повздовжньо-важільна задня підвіска. З обох боків розміщено по одному повздовжньому важелю з поворотною опорою на поперечині підвіски або на кузові. Компактність такого типу підвіски дозволяє розмістити паливний бак та запасне колесо між важелями, що значно збільшує об'єм багажного відсіку. Кінематика напрямного пристрою на ходах стиснення та відбою сприяє сталості колії, розвалу та сходження коліс, проте, характеризується незначною зміною бази. Крім того, під час руху на повороті, нахил кузова супроводжується нахилом коліс, що зменшує спроможність передачі сил в контакт шини з опорною поверхнею [5].

Також варто виділити розповсюджену в 70-х роках діагонально-важільну задню підвіску у якій осі гойдання важелів розташовані під кутом до повздовжньої площини автомобіля [8]. Вона ввібрала в себе переваги повздовжньо-важільної підвіски та поперечно-важільної підвіски, дешева у виробництві, проста в експлуатації. У випадку ведучих задніх коліс, діагонально-важільна підвіска поступається поперечно-важільній підвісці, незважаючи на більші габаритні розміри останніх, що суттєво зменшує об'єм багажного відсіку [5].

Результатом подальшого розвитку (зменшення довжини верхнього важеля) поперечно-важільної підвіски стала підвіска MacPherson [5]. В порівнянні з двоважільною підвіскою поступається в кінематичних параметрах, головним чином, через істотно більшу зміну розвалу коліс при ходах стиснення і відбою, проте, менш піддатлива до зміни розвалу коліс під дією бічних сил, що

прикладенні в контакт з опорною поверхнею. Має вищий рівень передачі на несучу систему автомобіля вібрацій і шумів, більша габаритна висота, а також складніша в обслуговуванні, проте: більш дешева, компактна по ширині та легка, що зумовило найширше її застосування в практиці автомобілебудування. Вперше напрямна пружинна стійка була використана на автомобілі «Peugeot 204» в 1965р. Через рік - на автомобілях Ford, в 1967 р. – на Audi NSU Ro 80, а в 1969 р. – на Fiat 128. Але справжній «прорив» почався на початку 70-х років, коли практично всі нові передньопривідні автомобілі були обладнані таким типом підвіски [5].

Також, 1970-х роках, на передньопривідних автомобілях з'являється задня напівзалежна підвіска на зв'язних важелях. Її основні перевагами: простота конструкції, кінематичні особливості та компактність. До недоліків відносять сприятливість до надлишкової поворотності та високу напруженість в зварних швах [5].

В 1980-х роках фірма Daimler-Benz розробила задню підвіску на просторових важелях. Попередником цього типу підвіски була п'яти-важільна задня підвіска експериментального автомобіля С111 розроблена в 1968 році фірмою Daimler-Benz. Просторове розміщення важелів визначає точне просторове переміщення колеса, таким чином, щоб колія автомобіля залишалася сталою при мінімальних змінах розвалу, також мінімізується зміна сходу під час прискорення. Спостерігається високий рівень протидії повздовжньому крену і тенденція до недостатньої поворотності. Практично немає недоліків [5].

Таким чином, основна увага зосереджувалась на розробці таких кінематичних та еластокінематичних особливостей напрямних пристроїв, які визначали б траєкторію руху колеса та його поведінку в цілому відносно кузова з урахуванням основних вимог до керованості та стійкості. Значну увагу було зосереджено на кутах встановлення коліс та надійності контакту колеса з опорною поверхнею на всьому діапазоні ходу підвіски. Проте, незважаючи на досягнені результати, конструктори продовжували пошук компромісного рішення в плані поліпшення рівня комфортабельності без втрати рівня безпеки руху [11].

Розвиток мікропроцесорних технологій позитивно відображався на вирішенні поставлених задач, що привернуло значну увагу автомобільних виробників в середині 80-х років [14]. Застосування електроніки в керуванні робочими процесами підвіски автомобіля стало новим етапом їх розвитку [15]. Були представлені виняткові можливості які досягалися заміною традиційних пружинних та гасильних пристроїв повністю активними електронно-керованими, швидко діючими гідравлічними приводами [11]. Лідером того часу з розвитку та тестування активних підвісок був експериментальний автомобіль Lotus Esprit [14]. На думку розробників, підвіска вийшла дещо складною та дорогою [15]. Даний автомобіль не продемонстрував належний рівень комфортабельності, проте, мав значно вищий рівень безпеки руху. В свою чергу це сприяло зростанню діяльності автомобільних виробників в цьому напрямку, в результаті чого в серійний автомобіль було впроваджено низькочастотну активну підвіску [14].

Фірма Toyota встановлює електронно-керовану підвіску на своїх престижних автомобілях. В цій підвісці мікропроцесор змінює ступінь демпфування гідроциліндрів кожного колеса, при чому водій може задавати любий з трьох режимів роботи: «нормальний» – в умовах міста; «спортивний» – на дорогах з великою кількістю поворотів; та «автоматичний» – при якому режим роботи гідроамортизаторів знаходиться між двома попередніми [15]. Фірма Daimler Benz не довела до кінця (на той час) розробку активної підвіски, проте, відомо що вже тоді розроблявся оптичний давач, який мав «бачити» дорожні нерівності і передавати отриману інформацію центральному керуючому приладу, який в свою чергу керував виконавчими елементами підвіски [15].

В 1990 р. на Паризькому автосалоні французька фірма Citroën представила свій дослідний прототип - автомобіль «Activa 2» [16]. Автомобіль обладнаний активною гідропневматичною підвіскою з функцією автоматичної зміни висоти автомобіля під час руху та активною системою «антикрен», що дозволяє зберігати горизонтальне положення на повороті і навіть викликати невеликий нахил в сторону, протилежну крену. Робота цієї системи має дві фази: спочатку за дуже короткий час, приблизно в 2 рази, зростає бічна жорсткість підвіски в сторону крену, а потім зменшується кут нахилу кузова [17]. З 1995 р. такою системою обладнують Citroën Xantia Activa [18].

Висока вартість, значна потреба в електроенергії, складність конструкції та низька надійність - головні недоліки активних підвісок. На початку 90-х років міжнародна автомобільна федерація була вимушена заборонити використання активних підвісок на змаганнях F1 (внаслідок ненадійної роботи електронних систем активних підвісок виникали аварійні ситуації [19]), але це не впливало значною мірою на основну масу автомобільних виробників [11].

В другій половині 90-х років з'явилась підвіска із змінним демпфуванням (півактивна підвіска). Було очевидно, що новий напрямок розвитку автомобільних підвісок - найкращий компроміс між ціною та результатом [11]. Відомо, що необхідність в розробці регульованих амортизаторах розглядалось ще в 60-х роках. Професор Ротенберг Р.В. піднімає питання вибору характеристик підвіски. Варто відмітити, що амортизатори збільшують динамічне навантаження на систему, а інколи навіть погіршують показники плавності ходу автомобіля [20]. Наприклад, при відносно високочастотних коливаннях з малими амплітудами. В результаті досліджень [21-23] було виявлено, що не існує єдиної характеристики амортизатора, яка б відповідала умовам мінімальної величини прискорень та швидкості змін прискорень одночасно з умовою надійності контакту колеса з опорною поверхнею [24].

В 1984 р. на автомобілі Mitsubishi Galant Royal була встановлена підвіска з миттєвим, ступінчастим регулюванням жорсткості підресорювання та демпфірування в залежності від характеристик режимів (умов) руху транспортного засобу. Електропневматичний клапан, який перемикає ступінь жорсткості підресорювання та рівня демпфування, приводиться в дію сенсором (за долі секунди) під час гальмування, прискорення або різких поперечних кренах. Жорсткість підвіски зростає приблизно на 50%, при цьому, рівень демпфування на 150% в результаті, зменшуються повздовжні та поперечні крени кузова. Крім того, при швидкості понад 90 км/год. знижується рівень кузова. Перемикання відбувається як автоматично, так і вручну [5].

Безступінчаста зміна демпфірування CDC (Continuous Damping Control) вперше була представлена в 1999 р. [1]. В 2002 р. на автомобілі Cadillac GM вперше було використано MRF (Magnetorheological Fluid - магніто-реологічна рідина) демпфер який був розроблений Delphi. В'язкість магніто-реологічної рідини змінюється в залежності від магнітного поля, що виникає в електромагнітній котушці поршня амортизатора. Зміна характеристики демпфірування відбувається за 1, мс [25]. Така система через високу вартість широкого використання в автомобілебудуванні не знайшла. З 2006 р. встановлювалась на автомобілі Audi TT [1].

В 1998 р. концерн DaimlerChrysler обладнав Mercedes-Benz S, а згодом й E-клас півактивною пневматичною підвіскою Airmatic [26]. А в 1999 р. в Женевському автосалоні вперше була представлена система ABC (Active Body Control), гідравлічної активної підвіска малого діапазону частот. В підвіску автомобілів Mercedes CL500 та CL600 було інтегровано гідравлічний привід, для руху несучою системою у вертикальному напрямку з частотою до 2 Гц. Підресорювання та демпфування автомобільних коліс забезпечуються пасивними пружинами та амортизаторами. Система призначена для стабілізації несучої системи під час акселерації, гальмування, повороту та руху по хвилястій опорній поверхні, а також протидії бічному вітру [1]. До недоліків системи відносять [27] складність та високу вартість.

Альтернативним (більш дешевим) рішенням вважають [27] систему ARC (Active Roll Control), котра завдяки своїй універсальності підходить для оснащення різних автомобілів. В 2002 р. був представлений перший серійний активний стабілізатор підвіски, що нейтралізує дію відцентрової сили в поперечному напрямку, за рахунок внутрішніх зусиль (BMW/ZF Sachs) [1].

Подальшим напрямком розвитку автомобільних підвісок стало керування їх робочим процесом на основі аналізу геометричних параметрів нерівності дороги до наїзду на неї колеса з урахуванням характеристик режимів руху. В 2013 році Mercedes-Benz представив автомобіль нового S - класу з системою MBC (Magic Body Control), що базується на системі ABC з інноваційною системою сканування дорожнього полотна (Road Surface Scan), яка обладнана стерео камерою, що сканує на відстані до 15, м і розпізнає геометричні параметри дорожньої нерівності з похибкою до 3, мм до наїзду на неї автомобільним колесом [28]. Профіль дорожнього покриття, одночасно з інформацією про умови руху, безперервно обчислюється блоком управління, для організації керування робочими процесами підвіски автомобіля таким чином, щоб динамічне навантаження в момент наїзду колеса на дорожнє збурення було мінімальним. Така організація керування робочими процесами активної підвіски сприяє поліпшенню плавності ходу, стійкості та керованості. Система функціонує в умовах хорошої видимості на дорогах з твердим покриттям зі швидкістю руху до 130 км/год [29].

Нещодавній крок в розвитку конструкцій автомобільних підвісок виконали конструктори автомобіля Mercedes-Benz S-Class Coupé (2015 р.). Орієнтуючись на максимальний комфорт пасажирів даного автомобіля, було вдосконалено систему MBC (Magic Body Control) новою функцією поперечного нахилу кузова (в сторону протилежну крену) під час проходження повороту. Система працює в швидкісному діапазоні від 30 до 180 км/год. [30]

З 1980 року компанія BOSE працює над високочастотною активною електромагнітною підвіскою [31], яка призначена для активної компенсації дорожніх збурень, а також повздовжніх та

поперечних нахилів кузова [1]. Пасивні амортизатори замінені на лінійні електродвигуни, статичне навантаження сприймається торсіонами. Високочастотні коливання непідресорених мас сприймаються колісними демпферами. Головна перевага такої підвіски - швидкодія її приводів та рекуперация енергії від дорожніх збурень. Основний недолік - висока вартість [11]. Високочастотна активна підвіска BOSE в серійний автомобіль не інтегрована [32].

Висновки.

1. На основі аналізу розвитку конструкцій підвісок автомобіля виявлено, що лише з використанням мехатронних систем та подальшої організації керування робочими процесами в автомобільній підвісці стало можливим зосередити увагу на поліпшенні показників плавності ходу, стійкості та керованості одночасно. Проте, основним недоліком таких систем є висока вартість та складність у виробництві й експлуатації.

2. Пріоритетний напрямок розвитку конструкції автомобільної підвіски передбачає подальше впровадження мехатронних систем, організація керування робочими процесами яких відбувається до наїзду автомобільного колеса на нерівність. Організація переміщення колеса відносно кузова формуватиметься з міркувань забезпечення максимальної надійності контакту шини з опорною поверхнею, з мінімальним динамічним навантаженням на дорожнє покриття та автомобіль в цілому, що збільшує довговічність ходової частини та дорожнього одягу. Як наслідок, передбачається подальше поліпшення комфортабельності та безпеки руху.

Потальша робота буде присвячена обґрунтуванню та вибору вихідних даних щодо створення математичної моделі керування рухом вертикального переміщення колеса до його наїзду на нерівність дороги.

1. Heissing, B. and Ersoy, M. (2011). Chassis handbook: fundamentals, driving dynamics, components, mechatronics, perspectives. Hessen, Deutschland: Vieweg+Teubner Verlag.

2. Веденев Н.К. Развитие конструкций подвесок автомобилей // Подвеска автомобиля, Сборник статей: Материалы совещаний по подвеске автомобиля / Под ред. Чудакова Е. А. – М.: Издательство академии наук СССР, 1951. – С. 193 – 234.

3. Конструкция автомобиля. Шасси / [Гусаков Н. В., Зверев И. Н., Карунин А. Л., и др.]; под общ. ред. А.Л. Карунина. – М.: МАМИ, 2000. 528 с.

4. Тарутин А. А. Развитие конструкции подвески автомобилей / А. А. Тарутин, Н. К. Веденев // Автомобильная промышленность. – 1949. – №2. – С. 3 – 11.

5. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Конструкции подвесок / Раймпель Й.; [пер. с нем. В. П. Агапова]. М. Машиностроение, 1989. – 328 с.

6. Раймпель Й. Шасси автомобиля / Раймпель Й.; [Сокр. пер. 1 тома 4 нем. изд. В. П. Агапова, под ред. И. Н. Зверева]. М. Машиностроение, 1983. – 356 с.

7. Сабинин А. А. Скоростные автомобили. – М.: Физкультура и спорт, 1953. 249 с.

8. Dixon, J. (2009). *Suspension Geometry and Computation*. Chichester, United Kingdom: Wiley.

9. Dixon, J. (2007). *The shock absorber handbook*. (2nd ed.). Chichester, United Kingdom: Wiley.

10. Бухарина Е. В. Расчет автомобильных амортизаторов / Е. В. Бухарина // Автомобильная промышленность. – 1947. – №3. – С. 7 – 9.

11. Savaresi, S., Poussot-Vassal, C., Spelta, C., Sename, O. and Dugard, L. (2010). *Semi-active suspension control design for vehicles*. Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann.

12. Смотровидский М. И. Гидропневматическая подвеска, ее характеристики и особенности / М. И. Смотровидский // Автомобильная промышленность. – 1960. – №8. – С. 25 – 28.

13. Богданов Г. П. Подвеска зарубежных легковых автомобилей / Г. П. Богданов // Автомобильная промышленность. – 1963. – №1. – С. 44 – 47.

14. Hrovat, D. (1997). Survey of advanced suspension developments and related optimal control. *Automatica*, 33(10), 1781 – 1817.

15. Беликов С. А. Электронное управление подвеской легкового автомобиля / С. А. Беликов // Автомобильная промышленность. – 1985. – №3. – С. 38 – 39.

16. Citroen Activa 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.citroenet.org.uk/prototypes/activa/activa2.html>.

17. Савченко А. С. Автомобиль «Актив-2» / А. С. Савченко // Автомобильная промышленность. – 1983. – №4. – С. 34 – 35.

18. Mastinu, G., and Ploechl, M. (2014). *Road and off-road vehicle system dynamics handbook*. Florida, United States: CRC Press.

19. Рухман И. Н. Активная подвеска для автомобиля / И. Н. Рухман // Автомобильная промышленность. – 2000. – №10. – С. 15 – 18.

20. Цимбалин В. Б. О методах экспериментальной оценки и критериях качества подвески / В. Б. Цимбалин // Автомобильная промышленность. – 1960. – №7. – С. 7 – 9.

21. Дербаремдикер А. Д. К вопросу об автоматическом регулировании сопротивления амортизатора / А. Д. Дербаремдикер // Автомобильная промышленность. – 1964. – №11. – С. 18 – 22.

22. Mitschke, M. (1962). Beitrag zur untersuchung der fahrzeugschwingungen: (theorie und versuch). Dsseldorf, Germany: VDI-Verl.

23. Певзнер Я. М., Горелик А. М. Пневматические и гидропневматические подвески. – М.: Mashgiz, 1963. 320 с.
24. Дербаремдикер А. Д. Амортизаторы с регулируемым сопротивлением / А. Д. Дербаремдикер // Автомобильная промышленность. – 1968. – №3. – С.40 – 42.
25. Есеновский-Лашков Ю. К. Активная подвеска для автомобиля С-класса / Ю. К. Есеновский-Лашков, А. А. Трикоз // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. – 2008. – №8. – С.9 – 11.
26. Савченко А.С. Airmatic полуактивная подвеска от Mercedes-Benz / А.С. Савченко // Автостроение за рубежом. – 2004. – №2. – С. 14–15.
27. Савченко А.С. Активная подвеска не только для автомобилей высшего класса / А.С. Савченко // Автостроение за рубежом. – 2004. – №10. – С. 13–15.
28. Magic Body Control [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://techcenter.mercedes-benz.com/en/magic_body_control/detail.html.
29. Magic Body Control [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/magic-body-control/http://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/magic-body-control/>.
30. Breathtaking and irresistible: The new Mercedes-Benz S 63 AMG Coupé [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/passenger-cars/s-class/breathtaking-and-irresistible/>.
31. Bose suspension system [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://worldwide.bose.com/electroforce/assets/pdf/Products/bose_suspension_system.pdf.
32. Bose suspension system [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: www.bose.de/DE/de/learning-centre/suspension-problem/.

REFERENCES

1. Heissing, B. and Ersoy, M. (2011). Chassis handbook: fundamentals, driving dynamics, components, mechatronics, perspectives. Hessen, Deutschland: Vieweg+Teubner Verlag.
2. Vedenev, N. (1951). *Razvitiye konstruktivnykh podvesok avtomobiley* [Development of the designs of cars suspension]. Moscow, *Izdatelstvo akademii nauk SSSR Publ.* [Publishing House of the USSR Academy of Sciences], pp. 193-234.
3. Gusakov, N., Zverev, I. & Karunin, A. (2000). *Konstruktsiya avtomobilya. Shassi* [The design of the car. Chassis]. Moscow, MAMI Publ., 528 p.
4. Tarutin, A. & Vedeneev, N. (1949). *Razvitiye konstruktivnykh podveski avtomobiley* [Development design suspension vehicles], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 2, pp. 3-11.
5. Raympel, Y. (1989). *Shassi avtomobilya: Konstruktsii podvesok* [Car chassis: Design pendants]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 328 p.
6. Raympel, Y. (1983). *Shassi avtomobilya* [Car chassis]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 356 p.
7. Sabinin, A. (1953). *Skorostnyye avtomobili* [Speed cars]. Moscow, Fizkultura i sport Publ., 249 p.
8. Dixon, J. (2009). *Suspension Geometry and Computation*. Chichester, United Kingdom: Wiley.
9. Dixon, J. (2007). *The shock absorber handbook*. (2nd ed.). Chichester, United Kingdom: Wiley.
10. Buharina, E. (1947). Raschet avtomobilnykh amortizatorov [Calculation of automobile shock absorbers], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 3, pp. 7-9.
11. Savaresi, S., Poussot-Vassal, C., Spelta, C., Sename, O. & Dugard, L. (2010). *Semi-active suspension control design for vehicles*. Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann.
12. Smotridtskiy, M. (1960). Gidropnevmaticheskaya podveska, ee harakteristiki i osobennosti [Hydropneumatic suspension, its characteristics and features], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 8, pp. 25-28.
13. Bogdanov, G. (1963). Podveska zarubezhnykh legkovykh avtomobiley [Suspension of foreign cars], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 1, p.p. 44-47.
14. Hrovat, D. (1997). Survey of advanced suspension developments and related optimal control. *Automatica*, Vol. 33 (10), pp. 1781 – 1817.
15. Belikov, S. (1985). Elektronnoye upravlenie podveskoy legkovogo avtomobilya [Electronic control suspension of a passenger car], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 3, pp. 38-39.
16. Citroen Activa 2. Available at: <http://www.citroenet.org.uk/prototypes/activa/activa2.html>.
17. Savchenko, A. (1983). Avtomobil «Aktiva-2» [Car "Asset-2"], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 4, pp. 34-35.
18. Mastinu, G., and Ploechl, M. (2014). *Road and off-road vehicle system dynamics handbook*. Florida, United States: CRC Press.
19. Ruhman, I. (2000). Aktivnaya podveska dlya avtomobilya [Active suspension for vehicle], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 10, p.p. 15-18.
20. Tsimbalin, V. (1960). O metodah eksperimentalnoy otsenki i kriteriyah kachestva podveski [Methods of experimental evaluation and quality criteria pendants], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 7, pp. 7-9.
21. Dербаремдикер, А. (1964). *K voprosu ob avtomaticheskoy regulirovaniy soprotivleniya amortizatora* [To the question about the automatic regulation of the resistance of the shock absorber], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 11, pp. 18-22.
22. Mitschke, M. (1962). *Beitrag zur untersuchung der fahrzeugschwingungen: (theorie und versuch)*. Dusseldorf, Germany: VDI-Verl.
23. Pevzner, Ya. & Gorelik, A. (1963). *Pnevmaticheskie i gidropnevmaticheskie podveski* [Pneumatic and hydropneumatic suspension]. Moscow, Mashgiz Publ., 320 p.
24. Dербаремдикер, А. (1968). Amortizatoryi s reguliruemym soprotivleniem [Shock absorbers with adjustable resistance], *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, no. 3, p.p. 40-42.

25. Esenovskiy-Lashkov, Yu. (2008). Aktivnaya podveska dlya avtomobilya C-klassa [Active suspension for a vehicle C-class]. *Gruzovik: transportnyy kompleks, spetstechnika - The truck transportation industry, machinery*, no. 8. pp. 9 – 11.
26. Savchenko, A. (2004). Airmatic poluaktivnaya podveska ot Mercedes-Benz [Airmatic semi-active suspension from Mercedes-Benz], *Avtostroenie za rubezhom - Automotive products abroad*, no. 2, pp. 14–15.
27. Savchenko, A. (2004). Aktivnaya podveska ne tolko dlya avtomobiley vyisshego klassa [Active suspension for cars of the highest class], *Avtostroenie za rubezhom - Automotive products abroad*, no. 10, pp. 13–15.
28. Magic Body Control. Available at: http://techcenter.mercedes-benz.com/en/magic_body_control/detail.html.
29. Magic Body Control. Available at: <http://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/magic-body-control/>, <http://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/magic-body-control/>.
30. Breathtaking and irresistible: The new Mercedes-Benz S 63 AMG Coupé. Available at: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/passenger-cars/s-class/breathtaking-and-irresistible/>.
31. Bose suspension system. Available at: http://worldwide.bose.com/electroforce/assets/pdf/Products/bose_suspension_system.pdf.
32. Bose suspension system. Available at: www.bose.de/DE/de/learning-centre/suspension-problem/.

V. Polyakov, I. Murovaniy, A. Razboynikov. Analysis of designs vehicle suspension systems development.

It was analyzed the development of vehicle suspension system. In this work, an overview the most widespread vehicle suspension design for all time of its existence. Particular attention is given to an overview on mechatronic suspension systems.

Based on the analysis of vehicle suspension designs found that only by using mechatronic systems in the automotive suspension and further organization of workflow management may focus on improving the performance ride, stability and handling at the same time.

The modern trend of controlling the operation of the suspension system before the collision with irregularities. It is noted that the nature of the interaction with the wheel bearing surface is defined by the minimum criteria of the dynamic reaction on the road surface and vehicle at all, starting with a car tire and ending with the carrier system of the car, which increases the durability of the chassis, the tires and the road.

Keywords: stability, handling, smoothness, active suspension, semi-active suspension.

Поляков В.М., Мурований І.С., Разбойников А.А. Анализ развития конструкций подвесок автомобиля.

Проведен анализ развития конструкций подвесок автомобиля. Рассмотрены наиболее распространенные конструкции подвески автомобиля за все время ее существования. Особое внимание уделено мехатронным автомобильным подвескам.

На основе анализа развития конструкций подвесок автомобиля обнаружено, что только с использованием мехатронных систем в автомобильной подвеске и дальнейшей организации управления рабочими процессами возможно сосредоточить внимание на улучшении показателей плавности хода, устойчивости и управляемости одновременно.

Рассмотрены современные тенденции управления работой подвески до наезда на неровность. Отмечено, что характер взаимодействия колеса с опорной поверхностью определяется критериям минимальной динамической нагрузки на дорожное покрытие и автомобиль в целом, начиная с автомобильной шины и заканчивая несущей системой автомобиля, что повышает долговечность ходовой части, шины и дороги.

Ключевые слова: устойчивость движения, управляемость, плавность хода, активная подвеска, полуактивная подвеска.

АВТОРИ:

ПОЛЯКОВ Віктор Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет, e-mail: poljakov_2006@ukr.net

МУРОВАНІЙ Ігор Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Автомобілі і транспортні технології», Луцький НТУ, e-mail: avto@lntu.edu.ua

РАЗБОЙНИКОВ О. О., кафедра «Автомобілі», Національний транспортний університет.

AUTHORS:

Viktor POLIAKOV, Doctor of Science in Engineering, Professor of Automobiles Department, National Transport University, e-mail: poljakov_2006@ukr.net

Ihor MUROVANYI, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Head of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: avto@lntu.edu.ua

O. RAZBOINIKOV, Postgraduate Student of Automobiles Department, National Transport University,

РЕЦЕНЗЕНТ:

МАТЕЙЧИК В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан автомеханічного факультету, м. Київ, Україна.

REVIEWER:

V. MATEICHYK, Doctor of Science in Engineering, Professor, National Transport University, Dean of Automobile Mechanic Faculty, Kiev, Ukraine.

Стаття надійшла в редакцію 15.05.2015р.