

УДК 629.3.027

**В. М. ПАВЛЕНКО**, канд. техн. наук, доцент ХНАДУ, Харків;  
**О. О. КРИВОРУЧКО**, студент ХНАДУ

## СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ АКТИВНИХ ПІДВІСОК ДЛЯ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

Проведено теоретичне дослідження стану розвитку активних підвісок сучасних легкових автомобілів та доцільність їх впровадження. Розглянуті найрозповсюджені активні підвіски, які є на сьогоднішній день одним з найважливіших напрямків розвитку автомобільної галузі. Визначено особливості конструкції та експлуатації підвісок активного типу, до яких відносяться: пневматична підвіска AIRMATIC Dual Control, гідравлічна підвіска Active Body Control та гідропневматична підвіска Hidractive.

**Ключові слова:** автомобіль, підвіска, активна (адаптивна) підвіска, стійкість, керованість, система керування.

**Вступ.** Розвиток конструкції легкового автомобіля призвів до необхідності розробки та впровадження активних підвісок. Можна назвати декілька причин, котрі заставили інженерів використовувати адаптивні підвіски на легкових автомобілях.

По-перше, це пов'язано зі значними змінами навантаження на підвіску. Відбулося зменшення власної ваги автомобілів при підвищенні їх вантажопідйомності, особливо малолітражних, малогабаритних та компактних легкових автомобілів. Збільшення маси навантаженого автомобіля у порівнянні з порожнім досягає ста і більше відсотків. По-друге, значно підвищилися швидкості руху легкових автомобілів. З'явилася необхідність зміни положення кузова та жорсткості підвіски для підвищення стійкості та керованості. По-третє, не втратила свого значення проблема підвищення плавності ходу та комфортабельності руху в різних дорожніх умовах. Необхідність підвищення плавності ходу гостро відчувається на вітчизняних дорогах, якість яких далека від ідеалу. По-четверте, при використанні адаптивних підвісок стало можливим отримати додаткові переваги та зручності у порівнянні зі звичайною підвіскою. Легко можна зберігати або примусово змінити положення кузова та коліс відносно дороги. Наприклад, постійний кліренс покращує роботу фар, особливо при дальньому світлі, регулювання забезпечує можливість піднімання кузова для подолання перешкод, піднімання та опускання коліс для монтажу та демонтажу коліс без використання домкрата [1, 2].

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Характеристика підвіски впливає на довговічність, як самої машини, так і цілого ряду її вузлів та деталей. В тяжких дорожніх умовах саме можливості підвіски, а зовсім не потужність двигуна, визначає середні та максимальні швидкості руху.

Дослідження показують, що на нерівних дорогах середня швидкість руху падає на 35...40%, витрата палива збільшується на 50...70 %, міжремонтний інтервал зменшується на 35...40%. При цьому продуктивність автотранспорту знижується на 32...36%, а вартість поїздки зростає на 50...60%. До цього слід додати втрати, зумовлені перевитратою метала, палива, гуми і додатковими затратами робочої сили. Для зменшення цих втрат можна або покращити дороги, що дорого, або удосконалити підвіски автомобілів, що є ще більш вартісним, але в перерахунку на тисячі автомобілів виходить дешевше [3].

Аналізуючи всі існуючі конструкції активних підвісок їх вдалося класифікувати

© В. М. Павленко, О. О. Криворучко, 2014

за двома основними ознаками: керованістю та типом пружного елемента. Дана класифікація представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Класифікація активних підвісок

Активні підвіски є на сьогоднішній день одним з найважливіших напрямків розвитку автомобільної галузі. Під терміном «активна» розуміється підвіска, параметри якої можуть змінюватися при експлуатації [4]. Електронна система керування у складі активної підвіски дозволяє змінювати параметри автоматично. Конструкції активних підвісок можна умовно розділити по елементам підвіски, параметри яких змінюються. Елементи підвіски та змінюваний параметри приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Елементи підвіски та їхній змінюваний параметр

| Елемент підвіски                  | Змінюваний параметр                      |
|-----------------------------------|--|
| Амортизатор                       | Ступінь демпфування; жорсткість підвіски |
| Пружний елемент                   | Жорсткість підвіски; висота кузова       |
| Стабілізатор поперечної стійності | Жорсткість стабілізатора                 |
| Важелі                            | Довжина важеля; сходження коліс          |

Якщо говорити про підвіски, де керування досягається за рахунок керуючих систем, які реалізуються за рахунок бортових обчислювальних пристроїв, то можна дати наступну порівнювальну характеристику, представлена в табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняння керуючих систем активних підвісок

|   | Переваги  | Недоліки   |
|---|---|--|
| Алгоритми керування на основі математичних моделей руху автомобіля                                | Великий досвід використання, детермінованість.  | Адаптивність до поточних властивостей автомобіля. Не потребує розробки математичної моделі автомобіля. |
| Алгоритми керування на основі систем, заснованих на знаннях, нечіткій логіці, нейромережей і т.д. | Надмірна складність математичної моделі, мала адекватність моделі реальному автомобілю. | Недоліки, властиві пошуковому характеру поведінки при навчанні.  |

Найширшого застосування на даний час отримали пневматична, гідропневматична та гідравлічна активні підвіски керовані за допомогою контролерів за детермінованим принципом. Конструкцію даних підвісок буде приведена далі.

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою роботи є теоретичне дослідження стану розвитку активних підвісок сучасних легкових автомобілів та доцільність їх впровадження. Основним завданням дослідження є пошук та аналіз найбільш розповсюджених активних підвісок, які використовуються на легкових автомобілях.

**Матеріали дослідження.** *Пневматична підвіска AIRMATIC Dual Control.* Система AIRMATIC Dual Control автоматично налаштовує пневмопідвіску жорсткіше або м'якше, в залежності від стану дорожнього покриття, а також індивідуального стилю водіння – від режиму «комфортний» до режиму «спортивний» [5]. Пневматична підвіска AIRMATIC Dual Control у порівнянні зі звичайною пружинною підвіскою дозволяє отримати додаткові переваги в плані комфортності кочення шин, та безпечності руху. Режими «спортивний» та «комфортний» пневматична підвіска AIRMATIC Dual Control з електронним керуванням та адаптивною системою амортизації ADS II працює повністю автоматично. Налаштування пневмопідвіски в залежності від ситуації на дорозі за впливом електроніки змінює жорсткість. Якщо датчики реєструють, наприклад, спортивну манеру водіння, основне комфортне налаштування автоматично додає жорсткості. На рис. 2 представлена пневматична підвіска AIRMATIC Dual Control безпосередньо на автомобілі.

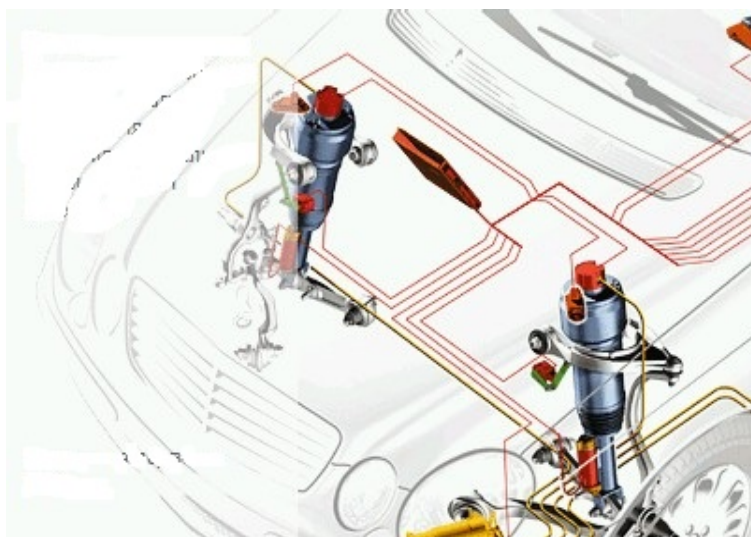


Рисунок 2 – Пневматична підвіска AIRMATIC Dual

Підвіску та амортизатор можна налаштувати на комфортний та спортивний режими вручну, за допомогою перемикача. Електроніка дозволяє реалізувати чотири різних рівня жорсткості (ADS II), котрі автоматично змінюють амортизаційне зусилля на кожному колесі в залежності від актуальних умов та стану дороги. Інтегрована в систему функція регулювання дорожнього просвіту по всьому периметру автомобіля навіть при значному завантаженні автомобіля забезпечує практично незмінний дорожній просвіт і за рахунок цього більшу стабільність. На швидкості приблизно 120 – 140 км/год дорожній просвіт з ціллю зниження аеродинамічного опору автоматично зменшується на 10 – 15 мм, а на швидкості вище 160 км/год – ще на 10 мм. При зменшенні швидкості нижче 70 км/год дорожній просвіт знову повертається на

нормальний рівень. Завдяки цьому також знижується показник аеродинамічного опору. На ділянках з поганим дорожнім покриттям можна вручну збільшити дорожній просвіт приблизно на 25 – 30 мм. Під час тривалої їзди при швидкості вище 80 км/год або при збільшенні швидкості вище 120 км/год рівень кузова знову опускається до нормального рівня.

*Гідравлічна підвіска Active Body Control.* Активна підвіска Active Body Control (ABC) найдосконаліша система активної підвіски у світі. ABC забезпечує оптимальну динаміку та комфорт за рахунок автоматичної адаптації налаштувань підвіски до тієї чи іншої дорожньої ситуації. Вбудована в ABC додаткова система стабілізації автомобіля при боковому вітрі активізується на швидкості 80 км/год при русі по прямій або незначних поворотах. Активна, швидка корекція траєкторії водієм за допомогою керма відключає систему стабілізації при боковому вітрі. Гідравлічна активна підвіска Active Body Control безпосередньо на автомобілі представлена на рис. 3.

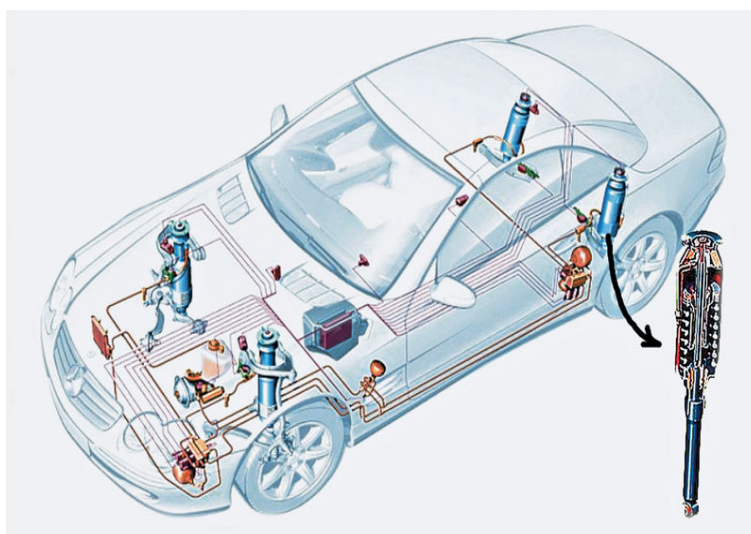


Рисунок 3 – Гідравлічна активна підвіска Active Body Control

Мікропроцесор для аналізу тієї чи іншої дорожньої ситуації оцінює сигнали від датчиків поперечного, повздовжнього та вертикального прискорення кузова та датчиків тиску в кожній амортизаторній стійці. Рівень кузова вимірюють датчики, розташовані на важелях передньої та задньої осі. Для попередження коливань кузова в гідравлічні циліндри амортизаційних стійок подається або відводиться мастило. При цьому змінюється висота верхніх опор стійок, а кузов залишається на попередньому рівні.

Гідравлічний насос системи ABC, встановлений на двигун, створює в системі тиск мастила до 200 бар. Завдяки тиску в системі та вбудованим гідроаккумуляторам система ABC за частки секунди може зреагувати на виникнення коливань кузова. Встановлені в електрогідравлічних блоках запірні клапани запобігають опусканню кузова під час стоянки. Ефективна система охолодження та запасу мастила доповнює досконалість гідравлічної конструкції системи. Слід відмітити що ресурс даної активної підвіски складає приблизно 400 – 500 тис. км (що є на порядок більше, ніж в підвісці AIRMATIC), але й вона не є вічною.

*Гідропневматична підвіска Hidractive.* Розвиток гідропневматичної підвіски Hidractive здійснюється в двох напрямках – підвищення надійності та розширення функціональних можливостей. Підвіска Hydtractive 3 (рис. 4) включає наступні

конструктивні елементи: гідроелектронний блок; резервуар робочої рідини; стійки передньої підвіски; задні гідропневматичні циліндри; гідроприводи; система керування.

Гідроелектронний блок, резервуар робочої рідини, передні стійки, задні циліндри, регулятори жорсткості утворюють гідравлічну систему підвіски.

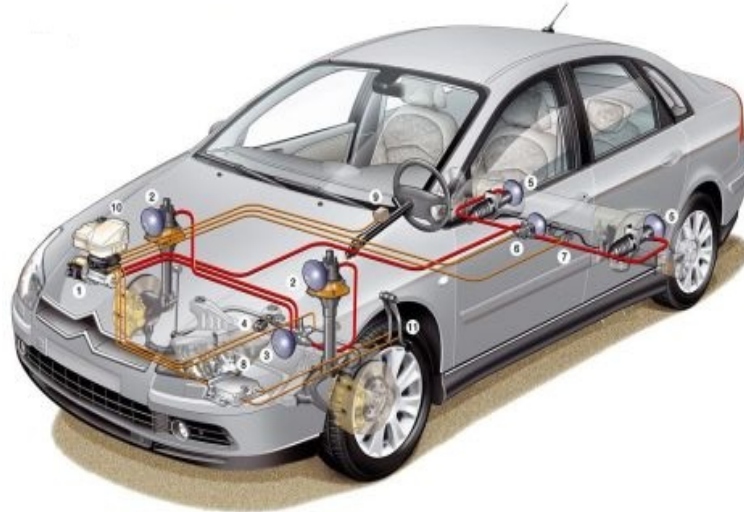


Рисунок 4 – Схема гідропневматичної підвіски Hydractive 3:

1 – гідро електронний блок; 2 – передня стійка; 3 – передній регулятор жорсткості; 4 – передній датчик положення кузова; 5 – задній гідропневматичний циліндр; 6 – задній регулятор жорсткості; 7 – задній датчик положення кузова; 8 – встановлений інтерфейс; 9 – датчик рульового колеса; 10 – резервуар робочої рідини; 11 – педаль газу та педаль гальма

В гідравлічну систему також включений контур гідравлічного підсилювача рульового керування.

Гідроелектронний блок (гідротронік) забезпечує необхідну кількість та тиск робочої рідини в гідравлічній системі підвіски. Він об'єднує електродвигун, аксіально-поршневий насос, електронний блок керування, електромагнітні клапани регулювання висоти кузова, запірний клапан (запобігає опусканню кузова в неробочому стані), запобіжний клапан. Електронний блок керування та електромагнітні клапани є елементами системи керування підвіски.

Резервуар робочої рідини розташований безпосередньо над гідро електронним блоком. В підвісці Hydractive 3 використовується робоча рідина LDS (оранжевий колір), яка прийшла на зміну рідині LHM (зелений колір).

Стійка передньої підвіски об'єднує гідроциліндр та гідропневматичний пружний елемент, між якими розташований амортизатор ний клапан, який забезпечує гасіння коливань кузова.

Гідропневматичний пружний елемент являє собою металічну сферу, котра всередині розділена еластичною багатошаровою мембраною. Над мембраною знаходиться стиснутий газ – азот, під мембраною – спеціальна рідина. Рідина передає тиск в системі, а газ виступає пружним елементом. На підвісці Hydractive 3+ встановлюють по одному пружному елементу на кожне колесо і по одній додатковій сфері на кожен вісь. Застосування додаткових пружних елементів значно розширює параметри регулювання жорсткості підвіски. Сучасні сфери мають сірий колір і зберігають працездатність в межах 200000 км пробігу.

Гідравлічні циліндри призначені для нагнітання рідини в пружні елементи та регулювання висоти положення кузова відносно дорожнього покриття. Гідроциліндр обладнаний поршнем, шток якого з'єднаний з відповідним важелем підвіски. Задні гідропневматичні циліндри по конструкції аналогічні переднім стійкам, але розташовані під кутом до горизонтальної площини.

Регулятор жорсткості служить для зміни жорсткості підвіски. Він включає електромагнітний клапан регулювання жорсткості, золотник, два додаткових амортизаторних клапана. На регуляторі жорсткості закріплена додаткова сфера. Регулятор жорсткості встановлений на передній та задній підвісці. В м'якому режимі підвіски регулятор жорсткості об'єднує всі гідропневматичні пружні елементи між собою, при якому досягається максимальний об'єм газу. Електромагнітний клапан при цьому знеструмлений. При подачі напруги на електромагнітний клапан включається жорсткий режим підвіски, при якому стійки, задні циліндри та додаткові сфери ізолюються один від одного.

Система керування гідропневматичної підвіски включає вхідні пристрої, електронний блок керування та виконавчі пристрої. До вхідних пристроїв відносяться вхідні датчики та перемикач режимів роботи. Вхідні датчики перетворюють відповідні характеристики в електричні сигнали. В гідропневматичній підвісці Hydractive 3 використовуються датчики положення кузова по висоті та кутовий датчик рульового колеса. Датчик положення кузова по висоті представляє інформацію про середню висоту кузова. На автомобілі Citroen встановлюють 2 або 4 таких датчика. Датчик кута повороту рульового колеса вимірює напрямок та швидкість обертання рульового колеса. Перемикач режимів роботи забезпечує ручне (примусове) регулювання висоти кузова та жорсткості гідропневматичної підвіски.

Електронний блок управління приймає сигнали від вхідних пристроїв, обробляє їх у відповідності до закладеної програми та форматує управляючі впливи на виконавчі пристрої. В своїй роботі електронний блок управління взаємодіє з системою керування двигуном, анти блокувальною системою.

До виконавчих пристроїв системи управління Hydractive 3 відносять: електродвигун насоса; електромагнітні клапана регулювання висоти; електромагнітні клапана регулювання жорсткості; електричний коректор фар.

Електродвигун під керуванням змінює швидкість обертання, відповідно змінюється продуктивність насоса і тиск в системі. В підвісці Hydractive 3 використовуються 4 електромагнітні клапана регулювання висоти – два на передню підвіску (впускний та випускний) та два на задню підвіску (впускний та випускний). Електромагнітні клапани регулювання жорсткості розташовані в регуляторах жорсткості.

Гідропневматична підвіска Hydractive 3 забезпечує: автоматичне регулювання дорожнього просвіту; автоматичне регулювання жорсткості; примусову зміну дорожнього просвіту та жорсткості.

Автоматичне регулювання дорожнього просвіту здійснюється в залежності від швидкості руху автомобіля, якості дорожнього покриття та стиля водіння конкретної людини. При русі по автомагістралі зі швидкістю більше 110 км/год висота кузова автоматично знижується на 15 мм. За поганих дорожніх умов та швидкості нижче 60 км/год кліренс автоматично збільшується на 20 мм. В автомобілі автоматично підтримується певна висота кузова незалежно від навантаження (завантаження). Висота підйому кузова визначається об'ємом спеціальної рідини, яка циркулює в контурі системи. Об'єм рідини дозується регулятором положення кузова. Робота гідропневматичної підвіски забезпечує збереження заданого рівня полу кузова при переміщенні коліс по нерівному дорожньому покритті.

**Результати дослідження.** Більшість провідних автовиробників ведуть інтенсивні дослідження в даній області. В цьому сегменті ринку заявляють про себе: Lotus Cars Ltd., McLaren, Williams, Mercedes Benz, Lotus, General Motors, Cadillac, Ferrari, Ford, Lincoln, Opel, Audi, Renault, Citroen, Volvo, Mitsubishi, Toyota, Nissan. Тренд ринку полягає в тому, що якщо в 80-ті роки активні підвіски використовувались тільки в гоночних автомобілях Формули 1, в 90-ті роки – в дорогих позашляховиках та SUV, в 2000 році – в дорогих легкових автомобілях, то на даний час про впровадження активних підвісок говорять практично всі розробники легкових автомобілів середнього класу. Особливу увагу до активних підвісок проявляють розробники спеціалізованого транспорту – реанімаційних автомобілів швидкої допомоги, машин для перевезення спеціальних вантажів.

**Висновки.** Впровадження адаптивних підвісок сприяє підвищенню безлічі експлуатаційних якостей автомобіля: плавності ходу, комфортабельності, стійкості руху, довговічності, як самої машини, так і цілого ряду її вузлів та деталей. Активна підвіска надає наступні можливості: автоматична компенсація заданого кліренсу, незалежно від навантаження на передню чи задню вісь; автоматична компенсація крену кузова у випадку нерівномірного завантаження з лівої або правої сторони автомобіля; зменшення кліренсу при збільшенні швидкості руху автомобіля; можливість налаштування підвіски в ручному режимі, що і було висвітлено в виконаному дослідженні.

**Список літератури:** 1. *Воронов А.А.* Устойчивость, управляемость, наблюдаемость / Воронов А.А. М.: Наука, 1979. – 111с. 2. Адаптивная подвеска автомобиля [Электронный ресурс] Режим доступа : [http://systemsauto.ru/pendant/adaptive\\_chassis.html](http://systemsauto.ru/pendant/adaptive_chassis.html). 3. *Павлюк А.С.* Подвески легковых автомобилей: [Учебн. пособие] / Павлюк А.С. М.: МАДИ, 1995. – 172 с. 4. Адаптивная подвеска. Устройство, принцип действия [Электронный ресурс] Режим доступа : <http://www.auto-observer.ru/sistemi-auto/76-adaptivnaya-podveskaustroystvo-i-princip-deystviya-aktivnoy-podveski.html>. 5. Какими бывают активные и адаптивные подвески [Электронный ресурс] Режим доступа : <http://mens.by/technology/cars/1229-646>.

*Надійшла до редколегії 28.02.2014*

УДК 629.3.027

**Сучасний стан розвитку активних підвісок для легкових автомобілів / В. М. Павленко, О. О. Криворучко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 9 (1052). – С. 54-60. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2078-6840.

Рассмотрены самые распространенные активные подвески, которые являются на сегодняшний день одним из важнейших направлений развития автомобильной отрасли. Определены особенности конструкции и эксплуатации подвесок активного типа, к которым относятся: пневматическая подвеска AIRMATIC Dual Control, гидравлическая подвеска Active Body Control и гидропневматическая подвеска Hidractive.

**Ключевые слова:** автомобиль, подвеска, активная (адаптивная) подвеска, устойчивость, управляемость, система управления.

**Modern condition of the development of the active suspension for passenger cars / V. N. Pavlenko, O. A. Krivoruchko** // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 9 (1052). – P. 54-60. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2078-6840.

The most widespread active suspension which are to date one of major development directions motor-car industry are considered. The features of construction and exploitation suspension of impulse-type, to which behave, are certain: pneumatic suspension of AIRMATIC Dual Control, hydraulic suspension of Active Body Control and hydropneumatic suspension of Hidractive.

**Keywords:** car, suspension, active (adaptive) suspension, stability, controllability, control system.