

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г.Ф. Морозова, РФ

Сотников Д.А.

студент 4 курса автомобильного факультета
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г. Ф. Морозова, РФ

Артёмов А.В.

старший преподаватель кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the department of automobiles and
service, Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Sotnikov D.A.

4th year student of the Automobile
Faculty of Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov, Russian Federation

Artemov A.V.

senior lecturer of the department of cars and
service, Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doktor of technical sciences, professor,
department of cars and service, Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation

АДАПТИВНАЯ ПОДВЕСКА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

ADAPTIVE PASSENGER CAR SUSPENSION

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения плавности хода легковых автомобилей, так как от неё зависит комфорт водителя и пассажиров, а также устойчивость автомобиля при прохождении неровностей дорожного покрытия. Самым эффективным решением является применение адаптивной подвески. Приведено сравнение различных типов адаптивных подвесок легковых автомобилей, выявлены их преимущества и недостатки.

Abstract. The article discusses the problem of improving the smoothness of passenger cars, as it affects the comfort of the driver and passengers, as well as the stability of the car when passing roughness of the road surface. The most effective solution is to use adaptive suspension. The comparison of different types of adaptive suspensions of passenger cars is given, their advantages and disadvantages are revealed.

Ключевые слова: адаптивность, подвеска, автомобиль, плавность хода, адаптивная подвеска, регулирование, колебания, безопасность.

Keywords: adaptability, suspension, car, smooth running, adaptive suspension, regulation, vibrations, safety.

Введение

Повышение плавности хода автомобилей неразрывно связано с улучшением комфорта водителя и пассажиров, и для повышения устойчивости автомобиля при движении по дорожному покрытию. Основные трудности заклю-

чаются в нахождении баланса между настройками жёсткости и мягкости подвески, так мягкая подвеска улучшает плавность хода автомобиля, поглощая неровности дороги, но вместе с этим ухудшается управляемость автомобиля. Жёсткая подвеска обеспечивает лучшую управляемость, но передаёт больше вибраций и ударов на кузов, ухудшая комфорт. При попытке смягчить ход возникают сложности с контролем автомобиля на высокой скорости, особенно при поворотах и экстремальном торможении. Необходимо, чтобы подвеска эффективно поглощала удары, но не допускала чрезмерных колебаний, которые могут привести к потере сцепления автомобиля с дорогой [1-3].

Для повышения плавности хода автомобиля требуется применение инновационных материалов и сложных конструкций (использование адаптивной подвески), что в свою очередь увеличивает стоимость автомобиля в целом.

Одним из путей повышения плавности хода автомобилей является применение адаптивной подвески, которая изображена на рисунке 1. Адаптивная подвеска автомобиля (АПА) – это современная система автомобиля, которая способна в автоматическом режиме изменять характеристики подвески в зависимости от дорожных условий, скорости движения и режима управления [4-6].

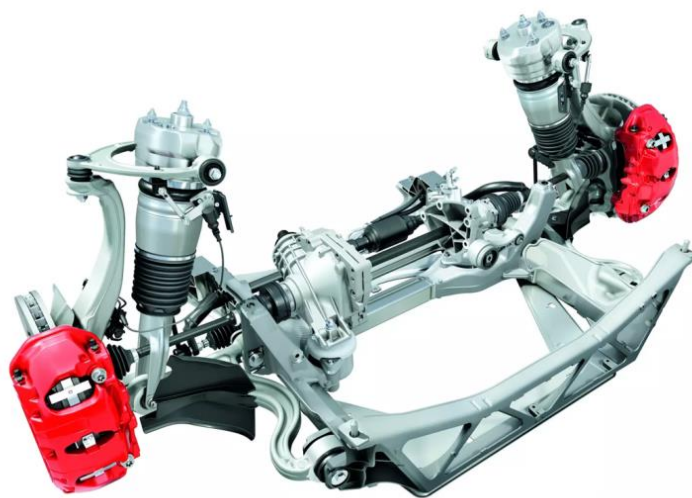


Рисунок 1 – Общий вид адаптивной подвески автомобиля

Назначение адаптивной подвески автомобиля:

- повышение плавности хода за счёт эффективного поглощения неровностей дорожного покрытия;
- улучшение устойчивости и управляемости автомобиля в различных режимах движения;
- снижении раскачивания кузова при маневрировании и торможении автомобиля;

- автоматическая адаптация подвески автомобиля под изменяющиеся условия движения без участия водителя.

Устройство и принцип работы АПА

Устройство АПА представлено на рисунке 2 и включает в себя следующие элементы:

- а) датчики – предназначены для измерения скорости движения автомобиля, угла поворота рулевого колеса, скорость вращения колёс и др.;
- б) электронный блок управления (ЭБУ) – производит анализ полученных данных с датчиков и передаёт команды исполнительным механизмам подвески;
- в) регулируемые амортизаторы – изменяют степень жёсткости в зависимости от типа дорожного покрытия и режима движения автомобиля. Различают амортизаторы с электромагнитными клапанами и с магнитно-реологической жидкостью;
- г) регулируемый стабилизатор поперечной устойчивости – по сигналу от ЭБУ изменяет степень жёсткости при маневрировании.



а) датчики



б) электронный блок управления



в) регулируемые амортизаторы



г) регулируемый стабилизатор поперечной устойчивости

Рисунок 2 – Устройство адаптивной подвески автомобиля

Принцип работы адаптивной подвески

Адаптивная подвеска работает на основе непрерывного сбора данных с датчиков (положения кузова, ускорения, скорости вращения колёс, угла поворота руля и др.). Электронный блок управления (ЭБУ) анализирует информацию и в режиме реального времени регулирует жёсткость амортизаторов или характеристики упругих элементов подвески.

Регулировка может происходить за счёт изменения сопротивления клапанов в амортизаторах (например, с помощью электромагнитных или электродвигательных приводов), либо изменения давления в пневматических или гидравлических элементах. Это позволяет адаптировать подвеску под дорожные условия, нагрузку и стиль вождения, обеспечивая оптимальный баланс между комфортом и управляемостью [7-9].

Виды адаптивной подвески автомобилей представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Виды адаптивной подвески автомобиля

Гидравлическая подвеска с регулируемой жёсткостью амортизаторов включает клапаны, управляемые электромагнитами или электродвигателями. При изменении сигнала управляющего блока меняется сопротивление амортизатора, что изменяет плавность хода. Пневматическая подвеска с адаптивным управлением использует пневмо-баллоны вместо привычных пружин. Давление в баллонах регулируется автоматически, меняя жёсткость и высоту клиренса. Такая конструкция позволяет менять дорожный просвет и адаптироваться под разную нагрузку. Комбинированная (гидропневматическая) подвеска состоит из гидравлических и пневматических элементов, обеспечивает высокоточную регулировку подвески для максимального комфорта и управляемости [8-10].

В таблице 1 представлены преимущества и недостатки каждого из видов АПА.

Таблица – Преимущества и недостатки адаптивной подвески автомобиля

Преимущества	Недостатки
ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ АДАПТИВНАЯ ПОДВЕСКА	
Быстрая и точная регулировка жёсткости под текущие условия	Повышенная стоимость по сравнению с обычными амортизаторами
Улучшение динамики и комфорта при смене режимов вождения	Более сложное техническое обслуживание и ремонтпригодность
Относительно простая конструкция и широкое распространение	В случае выхода из строя — ухудшение управляемости и комфорта
ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ АДАПТИВНАЯ ПОДВЕСКА	
Возможность менять дорожный просвет, что удобно при разных дорожных условиях	Высокая стоимость и сложность системы
Отличный комфорт благодаря мягкости и плавности хода	Уязвимость к пробоям и утечкам воздуха
Автоматическая адаптация под нагрузку	Требует систематического обслуживания (компрессоры, трубки, клапаны)
КОМБИНИРОВАННАЯ АДАПТИВНАЯ ПОДВЕСКА	
Высочайший уровень комфорта и плавности хода	Очень высокая цена системы и сложность технического обслуживания
Точная и быстрая адаптация характеристик подвески	Большая масса и сложность конструкции.
Способность выдерживать большие нагрузки и сохранять устойчивость	Ограниченная распространенность из-за дороговизны

Выбор адаптивной подвески зависит от конкретных задач: если нужен компромисс между ценой и комфортом — гидравлическая подвеска (регулируемые амортизаторы); для комфорта и изменяемого клиренса — пневматическая подвеска; для максимального комфорта и динамики — гидропневматическая или активная система, хотя они гораздо дороже и сложнее в обслуживании.

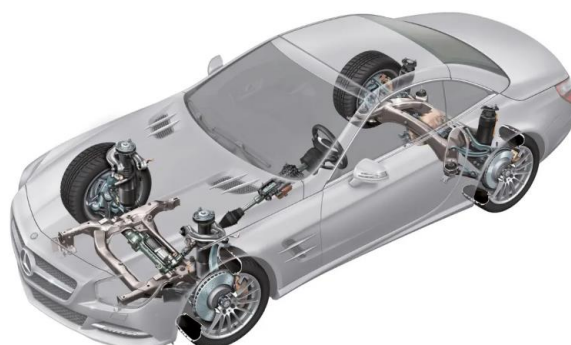
Мировой опыт автопроизводителей АПА

Audi была одним из основоположников в применении адаптивных амортизаторов (Audi Magnetic Ride). Система использует магнитно-реологическую жидкость, что позволяет мгновенно менять вязкость и, соответственно, жёсткость подвески. Эта технология применяется в спортивных моделях и премиум-сегменте, обеспечивая высокую управляемость и комфорт без больших затрат по весу.

Компания BMW внедрила систему Adaptive Drive и Dynamic Damper Control, где подвеска автоматически подстраивается под дорожные условия и режимы вождения. BMW также активно развивает пневматическую активную подвеску в своих моделях, улучшая баланс между спортивностью и комфортом.



а) адаптивная подвеска автомобиля марки BMW



б) адаптивная подвеска автомобиля марки Mercedes-Benz



в) адаптивная подвеска автомобиля марки Opel



г) адаптивная подвеска автомобиля марки Volkswagen



д) адаптивная подвеска автомобиля марки Audi



е) адаптивная подвеска автомобиля марки Skoda

Рисунок 3 – Адаптивные подвески автомобилей

Выводы

1. Применение адаптивной подвески в конструкциях автомобилей обеспечивает создание максимального комфорта и безопасности, так как АПА автоматически реагирует на изменение состояния дорожного покрытия.
2. Выбор вида АПА зависит от конкретных задач и предпочтений владельца автомобиля.
3. Мировые автопроизводители используют различные технические решения: применение магнитно-реологических амортизаторов, пневматических систем, активных гидропневматических подвесок.

Список литературы

1. Молоцило А.А., Соколянский В.В. Подвеска автомобиля как колебательное звено системы автоматического регулирования // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2022. – № 1(11). – С. 213-216.
2. Bazhenov Yu.V., Amirseiidov Sh. A. The providing of efficiency of steering system and the front suspension of the vehicle // Информационные технологии и инновации в транспорте: Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции. – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2019. – Р. 271-276.
3. Смирнова М.А., Постников А.В. Система автоматического регулирования магнитной подвески для испытательного стенда микромеханических акселерометров // Перспективы науки – 2016: материалы IV международного заочного конкурса научно-исследовательских работ, Казань, 10 октября 2016 года / Научно-образовательный центр "Знание". Том 3. – Казань: Рокета Союз, 2016. – С. 41-43.
4. I'll do it myself. All about adaptive suspensions. – URL: <https://auto.mail.ru/article/54892-yasdelayu-eto-sama-vsyo-pro-adaptivnyie-podveski/> (дата обращения: 06.03.2025)
5. Татаринцев, В. Ю. Системы автоматического регулирования подвески автомобиля / В. Ю. Татаринцев, С. Е. Мураткин, Д. А. Щеклеин // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2025. – № 15. – С. 182-185. – DOI 10.26160/2541-8637-2025-15-182-185. – EDN WFJLJQ.
6. Круглов, С. П. Управление адаптивной подвеской автомобиля на основе идентификационного алгоритма / С. П. Круглов, И. А. Заковьрин // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. – 2020. – № 3(8). – С. 29-44. – DOI 10.26731/2658-3704.2020.3(8).29-44. – EDN LZLSUX.
7. Об эффективности использования адаптивных амортизаторов в подвесках транспортных средств / А. Ф. Дубровский, С. А. Дубровский, С. В. Алюков [и др.] // Транспорт Урала. – 2018. – № 4(59). – С. 68-73. – DOI 10.20291/1815-9400-2018-4-68-73. – EDN YWYYNV.
8. Горбулич, А. Н. Система управления адаптивной электромагнитной подвеской мобильного энергетического средства / А. Н. Горбулич, О. С. Ведринский, О. И. Поливаев // Современные научно-практические решения XXI века : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 21–22 декабря 2016 года / Под общей редакцией В.И. Оробинского, В.Г. Козлова. Том Часть I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2016. – С. 210-214. – EDN XQUINP.
9. Попов, Д. В. Повышение плавности хода подвески путем установки адаптивной подвески / Д. В. Попов, А. В. Губенко // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса : Материалы X Международной научно-практической конференции, в рамках 10-го Международного научного форума Донецкой Народной

Республики, Горловка, 31 мая 2024 года. – Горловка: Донецкий национальный технический университет, 2024. – С. 122-127. – EDN RZFYNH.

10. Заковьрин, И. А. Установка по исследованию адаптивного управления подвеской транспортного средства / И. А. Заковьрин, С. П. Круглов // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 1(11). – С. 419-428. – EDN MVLHRV.

References

1. Molotsilo A.A., Sokolyansky V.V. Car suspension as an oscillating link in the automatic control system // Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement. – 2022. – № 1(11). – Pp. 213-216.

2. Bazhenov Yu.V., Amirseidov Sh. A. The provision of efficiency of steering system and the front suspension of the vehicle // Information technologies and innovations in transport: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference. – Orel: I.S. Turgenev Orel State University, 2019, pp. 271-276.

3. Smirnova M.A., Postnikov A.V. Automatic magnetic suspension control system for the test bench of micromechanical accelerometers // Perspectives of Science - 2016: materials of the IV international correspondence competition of scientific research papers, Kazan, October 10, 2016 / Scientific and Educational Center "Znanie". Volume 3. Kazan: Rocket Soyuz, 2016. pp. 41-43.

4. I'll do it myself. All about adaptive suspensions. – URL: <https://auto.mail.ru/article/54892-ya-sdelayu-eto-sama-vsyo-pro-adaptivnyie-podveski> / (date of request: 03/06/2025)

5. Tatarintsev, V. Y. Automatic suspension control systems / V. Y. Tatarintsev, S. E. Muratkin, D. A. Shcheklein // Mechatronics, automation and robotics. – 2025. – No. 15. – pp. 182-185. – DOI 10.26160/2541-8637-2025-15-182-185. – EDN WFJLJQ.

6. Kruglov, S. P. Adaptive car suspension control based on an identification algorithm / S. P. Kruglov, I. A. Zakovrin // Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems. – 2020. – № 3(8). – Pp. 29-44. – DOI 10.26731/2658-3704.2020.3(8).29-44. – EDN LZLSUX.

7. On the effectiveness of using adaptive shock absorbers in vehicle suspensions / A. F. Dubrovsky, S. A. Dubrovsky, S. V. Alyukov [et al.] // Transport of the Urals. – 2018. – № 4(59). – Pp. 68-73. – DOI 10.20291/1815-9400-2018-4-68-73. – EDN YWYYNV.

8. Gorbulich, A. N. Control system for adaptive electromagnetic suspension of mobile power equipment / A. N. Gorbulich, O. S. Vedrinsky, O. I. Polivaev // Modern scientific and practical solutions of the XXI century : Proceedings of the international scientific and practical conference, Voronezh, December 21-22, 2016 / Under the general editorship of V.I. Orobinsky, V.G. Kozlov. Volume Part I. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2016. – pp. 210-214. – EDN XQUIHP.

9. Popov, D. V. Improving the smoothness of the suspension by installing an adaptive suspension / D. V. Popov, A.V. Gubenko // Scientific and technical aspects of the development of the automobile transport complex : Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference, within the framework of the 10th International Scientific Forum of the Donetsk People's Republic, Gorlovka, May 31, 2024. – Gorlovka: Donetsk National Technical University, 2024. – pp. 122-127. – EDN RZFYNH.

10. Zakovrin, I. A. Installation for the study of adaptive vehicle suspension control / I. A. Zakovrin, S. P. Kruglov // Young Science of Siberia. – 2021. – № 1(11). – Pp. 419-428. – EDN MVLHRV.