

УДК 629.3.027.3

DOI: 10.35211/2500-0586-2025-4-53-82-86

*В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев, И. А. Беляков***АДАПТИВНЫЙ ГИДРОАМОРТИЗАТОР
С УЛУЧШЕННЫМ ГАШЕНИЕМ КОЛЕБАНИЙ КУЗОВА И КОЛЕС****Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия**

nvv_60@mail.ru, chernykv@rambler.ru, avp24897@mail.ru, ivan.belyakov2018@gmail.com

Автор, ответственный за переписку:

Беляков Иван Александрович, ivan.belyakov2018@gmail.com

Представлено описание устройства и работы адаптивного гидравлического амортизатора с повышенной эффективностью гашения колебаний кузова и колес автотранспортных средств. Он представляет собой однотрубный газонаполненный гидроамортизатор, который обеспечивает автоматическое переключение между режимами сопротивления в зависимости от амплитуды, частоты и направления колебаний. При небольших амплитудах колебаний рабочая диаграмма подвески имеет вид «плавной бабочки» с плавным уменьшением сопротивления при подходе поршня к среднему положению и увеличением сопротивления при смене направления деформации подвески. При возникновении больших колебаний происходит автоматическое увеличение площади рабочей диаграммы, за счет увеличения сопротивления после прохода среднего положения.

Ключевые слова: адаптивный амортизатор, подвеска, рабочая диаграмма, автотранспортное средство*V. V. Novikov, K. V. Chernyshov, A. V. Pozdееv, I. A. Belyakov***ADAPTIVE HYDRAULIC SHOCK ABSORBER WITH ENHANCED
BODY AND WHEEL VIBRATION DAMPING****Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia**

The description of the device and operation of an adaptive hydraulic shock absorber with increased vibration damping efficiency of the body and wheels of vehicles is presented. It is a single-tube gas-filled hydraulic shock absorber that provides automatic switching between resistance modes depending on the amplitude, frequency, and direction of oscillation. With small oscillation amplitudes, the suspension operating diagram has the form of a "smooth butterfly" with a gradual decrease in resistance when the piston approaches the middle position and an increase in resistance when changing the direction of suspension deformation. When large fluctuations occur, the area of the working diagram is automatically increased by increasing the resistance after passing the middle position.

Keywords: adaptive shock absorber, suspension, working diagram, motor vehicle

Гидравлические амортизаторы (ГА) широко используются в подвесках автотранспортных средств (АТС) для снижения колебаний кузова и колес. Однако традиционные нерегулируемые ГА не способны эффективно гасить колебания на разбитых дорогах, что приводит к снижению плавности хода и скоростей движения АТС. В последние годы значительное внимание уделяется разработке новых адаптивных ГА, обладающих высокими демпфирующими свойствами, компактностью и надежностью. Перспективные направления развития данной отрасли представлены в работах [1–7]. Коллектив ВолгГТУ запатентовал множество разработок по данной тематике [8–13].

Одна из этих разработок послужила прототипом описанной ниже конструкции ГА [14]. Устройство включает саморегулирующий клапан-реле с гидравлической системой, который

автоматически меняет сопротивление, обеспечивая эффективное гашение колебаний кузова и колес и снижение потерь энергии в подвеске при различных условиях эксплуатации АТС.

На рис. 1 изображен общий вид адаптивного амортизатора, а на рис. 2 – рабочие диаграммы подвески с адаптивным амортизатором при открытом и закрытом регулирующем клапане-реле.

Адаптивный амортизатор содержит цилиндр 1, установленный в нем шток 2 с поршнем 3, делящим цилиндр 1 на надпоршневую 4 и подпоршневую 5 полости, заполненные жидкостью (рис. 1). На концах цилиндра 1 выполнены верхнее 6 и нижнее 7 радиальные отверстия и против них сбоку цилиндра 1 приварены верхняя 8 и нижняя 9 бонки. В средней части цилиндра 1 выполнена широкая внутренняя проточка 10, соединенная радиальным отвер-

стием 11 со средней бонкой 12, приваренной сбоку в средней части цилиндра 1. Ширина внутренней проточки 10 цилиндра 1 равна высоте поршня 3. В нижней части цилиндра 1 размещена компенсационная пневматическая камера 13, которая отделена от гидравлической подпоршневой полости 5 цилиндра 1 плавающим поршнем 14.

Сбоку цилиндра 1 напротив средней бонки 12 установлен саморегулирующий клапан-реле, в корпусе 15 которого установлен ступенчатый плунжер 16, большая ступень которого поджата

вверх пружиной 17, а меньшая ступень выходит наружу. В большей ступени плунжера 16 выполнены косые отверстия 18, соединяющие кольцевую подплунжерную полость 19 с надплунжерной полостью 20 через обратный клапан 21. Кольцевая подплунжерная полость 19 соединена со средней бонкой 12 и с блоком 22 обратных клапанов хода сжатия 23 и хода отбоя 24, поджатых в разные стороны общей пружиной 25 и перекрывающих выходные отверстия, соединенные с верхней 8 и нижней 9 бонками наружными трубками 26 и 27.

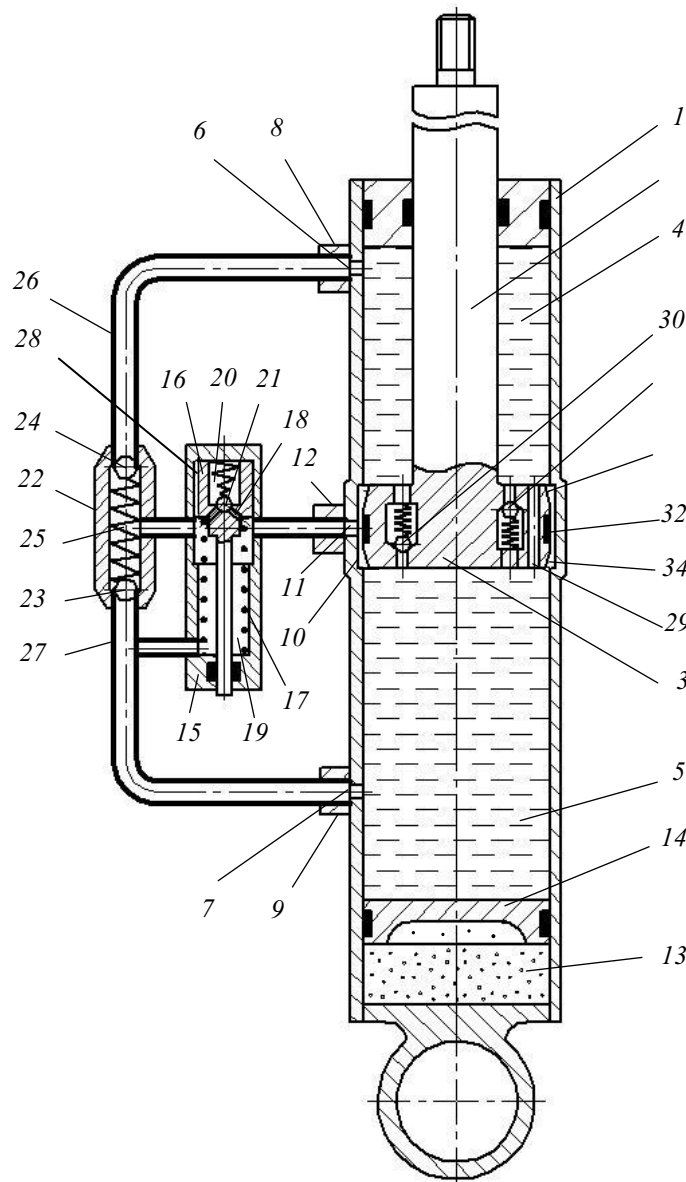


Рис. 1. Адаптивный гидроамортизатор:

1 – рабочий цилиндр; 2 – шток; 3 – поршень; 4 – надпоршневая полость; 5 – подпоршневая полость; 6, 7 и 11 – верхнее, нижнее и среднее радиальные отверстия; 8, 9 и 12 – верхняя, нижняя и средняя бонки; 10 – внутренняя проточка; 13 – компенсационная пневмокамера; 14 – плавающий поршень; 15 – саморегулирующий клапан-реле; 16 – ступенчатый плунжер; 17 – пружина плунжера; 18 – косые отверстия; 19 – кольцевая подплунжерная полость; 20 – надплунжерная полость; 21 – обратный клапан; 22 – блок обратных клапанов ходов сжатия 23 и отбоя 24 с пружиной 25; 26 и 27 – наружные обводные трубки; 28 – дроссельный паз; 29 – основной дроссель; 30 и 31 – предохранительные клапаны ходов сжатия и отбоя; 32 – уплотнение поршня; 33 и 34 – верхняя и нижняя кольцевые щели

На большей ступени плунжера 16 выполнен продольный дроссельный паз 28, сообщающий надплунжерную 20 кольцевую подплунжерную 19 полости между собой.

В поршне 3 установлен дроссель 29 и предохранительные клапаны хода сжатия 30 и хода отбоя 31, сообщающие надпоршневую 4 и подпоршневую 5 полости между собой. На поршне 3 в его средней части установлено уплотнительное фторопластовое кольцо 32, а верхний и нижний края поршня 3 выполнены в виде усеченных конусов, образующих с цилиндром 1 верхнюю 33 и нижнюю 34 кольцевые конические щели, обеспечивающие плавное уменьшение гидравлического сопротивления при подходе поршня 3 к своему среднему положению после прохода уплотнения 32 верхнего или нижнего края проточки 10. Поскольку максимальная площадь поперечного сечения кольцевых конических щелей 33 и 34 напротив верхнего и нижнего торцов поршня 3 больше или равна площади дросселя 29, то при нахождении поршня 3 в среднем положении обеспечивается увеличение общей площади дросселирования жидкости более двух раз, что означает плавное и существенное (более четырех раз) уменьшение силы сопротивления амортизатора. В результате реализуется рабочая диаграмма в виде «плавной бабочки» (рис. 2, замкнутая линия abcdefg).

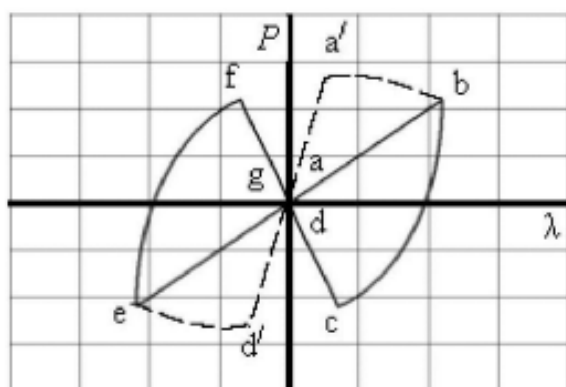


Рис. 2. Рабочие диаграммы подвески с линейным упругим элементом и адаптивным амортизатором: замкнутая линия abcdefg – при открытом клапане-реле 15; замкнутая линия aa'bcdd'efg – при закрытом клапане-реле 15

Амортизатор работает следующим образом.

При колебаниях подвески с небольшими амплитудами давление в компенсационной пневматической камере 13 меняется незначительно. Поэтому подпружиненный ступенчатый плунжер 16 под действием пружины 17 на-

ходится в крайнем верхнем положении, и его большая ступень не перекрывает верхние радиальные отверстия в корпусе саморегулирующего клапана-реле. При этом в зависимости от положения поршня 3 и направления его перемещения возможны разные режимы работы амортизатора, обеспечивающие плавно-прерывистое изменение сопротивления, что показано на рабочей диаграмме в виде «плавной бабочки» (рис. 2, замкнутая линия abcdefg).

На участке a...b поршень 3 вместе со штоком 3 перемещается от средней части цилиндра 1 вниз. Давление в подпоршневой полости 5 возрастает, а в надпоршневой полости 4 уменьшается, что приводит к перемещению плавающего поршня 14 вниз и увеличению давления газа в компенсационной камере 13. Под действием перепада давлений на поршне 3 жидкость из подпоршневой полости 5, отжимая обратный клапан хода сжатия 23, поступает в надпоршневую полость 4 через нижнее радиальное отверстие 7 цилиндра 1, нижнюю бонку 9, нижнюю обводную трубку 27, обратный клапан 23, радиальные отверстия и кольцевую подплунжерную полость 19 регулирующего клапана-реле 15, среднюю бонку 12 и среднее радиальное отверстие 11. Поскольку основной объем жидкости свободно выдавливается через обратный клапан хода сжатия 23, то дроссель 29 практически выключен из работы и сила сопротивления амортизатора близка к нулю.

На участке b...c происходит растяжение амортизатора вместе с упругим элементом подвески. При этом поршень 3 перемещается вверх к средней части цилиндра 1, а шток 2 выходит из цилиндра 1. Давление в надпоршневой полости 4 возрастает, а в подпоршневой полости 5 уменьшается, что приводит к перемещению плавающего поршня 14 вверх и уменьшению давления газа в компенсационной камере 13. Поскольку при этом обратный клапан хода сжатия 23 закрыт, то жидкость из надпоршневой полости 4 выдавливается поршнем 3 в подпоршневую полость 5 через дроссель 29, обеспечивая повышенное сопротивление амортизатора на ходе отбоя, которое на участке b...c плавно увеличивается от момента смены направления деформации амортизатора до момента прохождения уплотнением 32 нижнего края проточки 10 в цилиндре 1. При дальнейшем ходе растяжения на участке c...d жидкость из надпоршневой полости 4 поступает в подпоршневую полость 5 не только через дроссель

29, но и через верхнее радиальное отверстие 6, верхнюю бонку 8, верхнюю обводную трубку 26, обратный клапан хода отбоя 24, штуцер-тройник 22, радиальные отверстия и кольцевую подплунжерную полость 19 саморегулирующего клапана-реле 15, среднюю бонку 12, среднее радиальное отверстие 11, внутреннюю проточку 10 и нижнюю кольцевую коническую щель 34 между цилиндром 1 и поршнем 3, которая до момента занятия поршнем 3 среднего положения постепенно увеличивается, обеспечивая плавное и существенное (более четырех раз) уменьшение силы сопротивления амортизатора.

При больших скоростях растяжения подвески на участках $b...c$ и $c...d$ срабатывает предохранительный клапан хода отбоя 31, через который жидкость из надпоршневой полости 4 перетекает в подпоршневую полость 5, что ограничивает силу амортизатора на ходе отбоя.

На участке $d...e$ происходит дальнейшее растяжение амортизатора вместе с упругим элементом подвески, поэтому этот участок рабочей диаграммы имеет вид прямой наклонной линии, соответствующей жесткости линейного упругого элемента, например цилиндрической пружины. Поскольку при этом основной объем жидкости свободно выдавливается через обратный клапан хода отбоя 24, то дроссель 29 практически выключен из работы и сила сопротивления амортизатора близка к нулю.

На участке $e...f$ происходит сжатие амортизатора и упругого несущего элемента подвески. При этом поршень 3 перемещается вниз, а шток 2 входит в цилиндр 1. Давление в подпоршневой полости 5 возрастает, а в надпоршневой полости 4 уменьшается, что приводит к перемещению плавающего поршня 14 вниз и увеличению давления газа в компенсационной камере 13. Поскольку при этом обратный клапан хода сжатия 24 закрыт, то жидкость из подпоршневой полости 5 выдавливается в надпоршневую полость 4 через дроссель 29, что обеспечивает повышенное сопротивление амортизатора, которое плавно увеличивается от момента смены направления деформации амортизатора до момента прохождения уплотнением 32 верхнего края внутренней проточки 10 в цилиндре 1. При дальнейшем ходе сжатия на участке $f...g$ жидкость из подпоршневой полости 5 поступает в надпоршневую полость 4 не только через дроссель 29, но и через нижнее радиальное отверстие 7, нижнюю бонку 9, нижнюю обводную трубку 27, обратный клапан хо-

да сжатия 23, штуцер-тройник 22, радиальные отверстия и кольцевую подплунжерную полость 19 саморегулирующего клапана-реле 15, среднюю бонку 12, среднее радиальное отверстие 11, внутреннюю проточку 10 и верхнюю кольцевую коническую щель 33 между цилиндром 1 и поршнем 3, которая до момента занятия поршнем 3 среднего статического положения постепенно увеличивается, обеспечивая плавное и существенное (более четырех раз) уменьшение силы сопротивления амортизатора.

При больших скоростях сжатия подвески на участках $e...f$ и $f...g$ срабатывает предохранительный клапан хода сжатия 30, через который жидкость из подпоршневой полости 5 перетекает в надпоршневую полость 4, что ограничивает силу амортизатора на ходе сжатия.

При дальнейших ходах сжатия и отбоя описанная последовательность работы амортизатора повторяется, что обеспечивает саморегулирование неупругого сопротивления по амплитуде, направлению и частоте колебаний, формируя рабочую диаграмму подвески в виде «плавной бабочки» с существенным (более четырех раз) и плавным уменьшением сопротивления амортизатора при подходе к среднему положению (рис. 2).

При увеличении колебаний подвески происходит увеличение ходов штока 2 с поршнем 3 и плавающего поршня 14 в цилиндре 1, что увеличивает изменение давлений в компенсационной пневматической камере 13 и подпоршневой полости 5. При превышении на ходе сжатия статического давления в компенсационной камере 13 и подпоршневой полости 5 более чем в 1,5 раза ступенчатый плунжер 16 перемещается вниз, дополнительно сжимая пружину 17, и своей большей ступенью перекрывает верхние радиальные отверстия в корпусе саморегулирующего клапана-реле 15, обеспечивая перекрытие прохождения жидкости через радиальное отверстие 11 и увеличение неупругого сопротивления амортизатора на ходах сжатия и отбоя, что необходимо для эффективного гашения больших колебаний кузова и колес. В результате рабочая диаграмма становится круговой и приобретает вид эллипса с плавным уменьшением сопротивления в среднем положении (рис. 2, замкнутая линия $aa'bcdd'efg$). При перемещении плунжера 16 вниз жидкость из кольцевой подплунжерной полости 19 поступает в надплунжерную полость 20 через косые отверстия 18 и подпружиненный обратный клапан 21.

При уменьшении колебаний подвески максимальное давление в компенсационной камере 13 уменьшается, обратный клапан 21 закрывается и ступенчатый плунжер 16 под действием пружины 17 медленно (за 1...2 секунды) перемещается вверх, выдавливая жидкость из надплунжерной полости 20 в кольцевую подплунжерную полость 19 через продольный дроссельный паз 22 на большей ступени плунжера 16. При полном подъеме ступенчатого плунжера 16 верхние радиальные отверстия в корпусе саморегулирующего клапана-реле 15 открываются полностью, в результате чего рабочая диаграмма приобретает исходный вид «плавной бабочки», обеспечивающей эффективное гашение резонансных колебаний кузова транспортного средства (рис. 2, замкнутая линия abcdefg).

Предлагаемый адаптивный амортизатор обеспечивает автоматическое регулирование сопротивления в цикле колебаний в зависимости от частоты, амплитуды и направления деформации подвески, что позволяет эффективно гасить резонансные колебания кузова и колес, а также снижать потери энергии в подвеске при движении АТС по практически любым типам дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фурунжиев, Р. И.* Исследование некоторых вопросов демпфирования колебаний автомобиля: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск., 1966. – 20 с.
2. *Crosby, M. J.* The Active Damper — a New Concept for Shock and Vibration Control / M.J. Crosby, D.C. Karnopp // 43rd Shock and Vibration Bulletin, Part H, June, 1973. – P. 46–73.
3. *Новиков, В. В.* Виброзащитные свойства подвесок автотранспортных средств: монография / В. В. Новиков, И. М. Рябов, К. В. Чернышов; ВолгГТУ. – 2-е изд., испр. и доп. – М.; Вологда, 2021. – 384 с.
4. *Чернышов, К. В.* Теоретический анализ виброзащитных свойств одноопорной подвески при постоянном и регулируемом неупругом сопротивлении в цикле колебаний / К. В. Чернышов, В. В. Новиков, А. В. Поздеев // Грузовик. – 2022. – №10. – С. 15–23.
5. *Новиков, В. В.* Vibration-protective properties of the suspension with smooth regulation of inelastic resistance in the vibration cycle / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев, А. С. Дьяков, Т. V. Golubchik, В. Г. Дыгало, О. И. Чудаков, Р. А. Закиров, Д. А. Подошвин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение (Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry). – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 78–86.
6. *Чернышов, К. В.* Динамика движения. Регулируемые подвески: учеб. пособие / К. В. Чернышов, И. М. Рябов, В. В. Новиков, А. В. Поздеев, А. М. Ковалев. – 2-е изд. – Москва; Вологда, 2023. – 160 с.
7. *Новиков, В. В.* Расчет систем подпрессорирования автотранспортных средств: учебник / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев; под общ. ред. В. В. Новикова. – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 316 с.
8. Пат. 2750312 Российская Федерация, МПК F16F9/48 Амортизатор / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев, Д. А. Подошвин; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.
9. Пат. 2752047 Российская Федерация, МПК F16F9/48 Амортизатор / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев, Д. А. Подошвин; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.
10. Пат. 2750314 Российская Федерация, МПК F16F9/48 Амортизатор / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев, Д. А. Подошвин; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.
11. Пат. 2750348 Российская Федерация, МПК F16F9/48 Амортизатор / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев, Д. А. Подошвин; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.
12. Пат. 230065 Российская Федерация, МПК F16F9/48 Адаптивный амортизатор / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев, И. А. Беляков, А. Р. Брунилина; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2024.
13. Пат. 230304 Российская Федерация, МПК F16F9/48 Саморегулируемый амортизатор / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев, И. А. Беляков, А. Р. Брунилина; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2024.
14. Пат. 230709 Российская Федерация, МПК F16F9/48 Адаптивный амортизатор / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Поздеев, И. А. Беляков, А. Р. Брунилина; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2024.