

*С. С. Пригожаев, А. А. Пыхалов*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В УСТРОЙСТВАХ ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ДЕФОРМИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

**Аннотация.** *Отсутствие возможности управления системами гашения колебаний единиц транспорта приводит к неконтролируемому износу всех узлов и деталей и накладывает множественные динамические ограничения на перемещения транспортных средств.*

*Повышение износа различных узлов, а также возникновение неисправностей в результате постояннодействующей ударной нагрузки, передаваемой от поверхности дороги к экипажной части транспортных средств, приводят к необходимости улучшения системы гашения колебаний за счет изменения конструкции имеющихся демпферов или разработки новых, управляемых гасителей колебаний, например, пневматической системы или конструкций, работающих на основе свойств магнитоологических жидкостей.*

*В статье рассматриваются основные характеристики магнитоологических жидкостей, а также возможности их применения в узлах и деталях автомобильного и железнодорожного транспорта.*

**Ключевые слова:** *магнитоологическая жидкость, подвеска МакФерсона, магнитоологические виброопоры, реологические свойства, демпферы*

*S. S. Prigozhaev, A. A. Pykhalov*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

## **APPLICATION OF MAGNETORHEOLOGICAL FLUIDS IN VIBRATION DAMPING DEVICES OF DEFORMABLE STRUCTURES OF TRANSPORT SYSTEMS**

**Abstract.** *The inability to control the vibration damping systems of transport units leads to uncontrolled wear of all components and parts and imposes multiple dynamic restrictions on the motion of vehicles.*

*Increased wear of various components, as well as the occurrence of malfunctions as a result of the constant impact load transmitted from the road surface to the crew of vehicles, requires to improve the vibration damping system by changing the design of existing dampers or developing new, controlled vibration dampers, for example, a pneumatic system or constructions operating on the basis of the properties of magnetorheological fluids..*

*The article presents the main characteristics of magnetorheological fluids, as well as the possibilities of their application in the components and parts of road and railway transport.*

**Keywords:** *magnetorheological fluid, MacPherson suspension, magnetofluidic vibration supports, rheological properties, dampers*

### **Введение**

В общем случае демпфером принято называть устройство, предназначенное для гашения колебаний, возникающих при работе различных механических устройств, механизмов и машин. На сегодняшний день в технике для гашения колебаний применяется специальная система механических устройств, включающая подвеску в виде пружин, рессор и т.д., а также гидравлические амортизаторы или пневматические системы гашения колебаний.

Цель работы состоит в исследовании возможности применения в конструкции устройств гашения колебаний транспортных систем амортизаторов, рабочим телом которых являются магнитоологическая жидкость.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Исследовать основные типы (виды) и конструктивные исполнения демпфирующих устройств;
2. Проанализировать, направления разработки гасителей колебаний, работающих на основе магнитоологических жидкостей;

3. Изучить возможности применения демпфирующих устройств в высоконагруженных механических транспортных системах.

Издавна человечество пытается улучшить свой быт, сделать его более комфортным и рациональным. С созданием колеса человек начал использовать его и с целью собственного передвижения. Первоначально колесо крепилось непосредственно к раме телеги, что негативно сказывалось как на конструкции транспортного средства, так и на перемещаемом грузе.

Создание более комфортных условий для передвижения заставило человечество задуматься о создании устройств, работа которых будет направлена на сокращение ударов, передаваемых от неровностей на дороге непосредственно человеку или грузу. Так и появилась система подвески (СП) транспортного устройства, включающая первые гасители (поглотители энергии) колебаний.

За многолетние исследования СП транспортных средств претерпела значительные изменения и в последнее время чаще всего представляет собой систему МакФерсона или, как её еще называют, «Качающаяся свеча». Конструктивно эта подвеска включает гидравлическую стойку и пружину. Принцип работы построен на том, что энергия колебаний компенсируется энергией перекачивания рабочей жидкости в полостях гидравлической стойки. До недавнего времени применение таких устройств было самым оптимальным, но за последние годы можно проследить следующие тенденции улучшения систем гашения колебаний транспортных средств:

1. Переход от гидравлических амортизаторов к пневматическим позволил изменять жесткость подвески и тем самым изменять управляемость автомобилем.

2. Переход от пневматической системы демпфирования к МРЖ- амортизаторам позволяет значительно увеличить быстродействие системы управления жесткостью подвески автомобиля.

Принцип работы магнитореологического амортизатора заключается в возможности управления амортизирующей силой за счет изменения свойств магнитореологической жидкости, являющейся рабочим телом гасителя колебаний под воздействием магнитного поля, создаваемого катушкой, установка которой возможна как внутри, так и снаружи корпуса амортизатора [1].

Магнитореологические жидкости (МРЖ) состоят из коллоидных растворов, включающих микроскопические частицы магнетиков, помещенных в жидкости и стабилизированных поверхностно-активными веществами (ПАВ) [2]. В качестве магнетиков в магнитореологической жидкости используются различные металлы, обладающие магнитными свойствами, их сплавы и оксиды [1].

Известно, что основным реологическим свойством любых жидкостей является вязкость. Это свойство может изменяться только под воздействием температуры. В тоже время, использование обычных жидкостей в виде рабочего тела в механических системах не предполагает изменение их реологических свойств в широком диапазоне. Это ограничивает (исключает) их использование для решения проблем управления механическими системами. На решение этой проблемы и было направлено создание магниточувствительных или магнитореологических жидкостей.

Таким образом, актуальность применения магнитореологических жидкостей заключается в возможности реализации динамического характера регулирования жесткости в конструкции транспортных средств, например, элементов подвески и гасителей (демпферов) колебаний и других, осуществляемое как под управлением человека, так и в автоматическом режиме, определяемом условиями движения.

В Российской Федерации исследованием МРЖ занимается подразделение Ивановского энергетического университета - Проблемная научно-исследовательская лаборатория прикладной феррогидродинамики [1].

Сегодня известно применение МРЖ- амортизаторов на автомобилях премиум и спорт класса. Первый запущенный в производство автомобиль, управление подвеской которого

стало доступно за счет внедрения магнито-реологических жидкостей в систему поглощения колебания, стал спортивный автомобиль, выпущенный в массовое использование – «AUDI TT». Далее завод начал изучение «детских» болезней системы подвески «AUDI MAGNETIC RIDE» и вновь начал устанавливать элементы данной подвески только на модель «AUDI A3».

Схема и принцип работы магнито-реологического амортизатора системы подвески «AUDI MAGNETIC RIDE», представлены на рисунке 1.

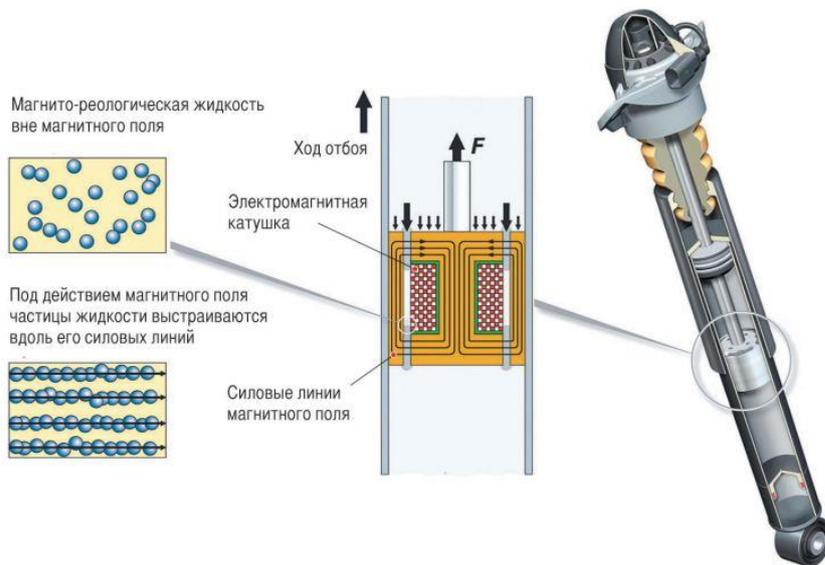


Рис. 1. Схема магнито-реологического амортизатора и его принцип действия

Рассмотрим график, показывающий Сравнительные характеристики обычного амортизатора и магнито-реологического (рисунок 2).

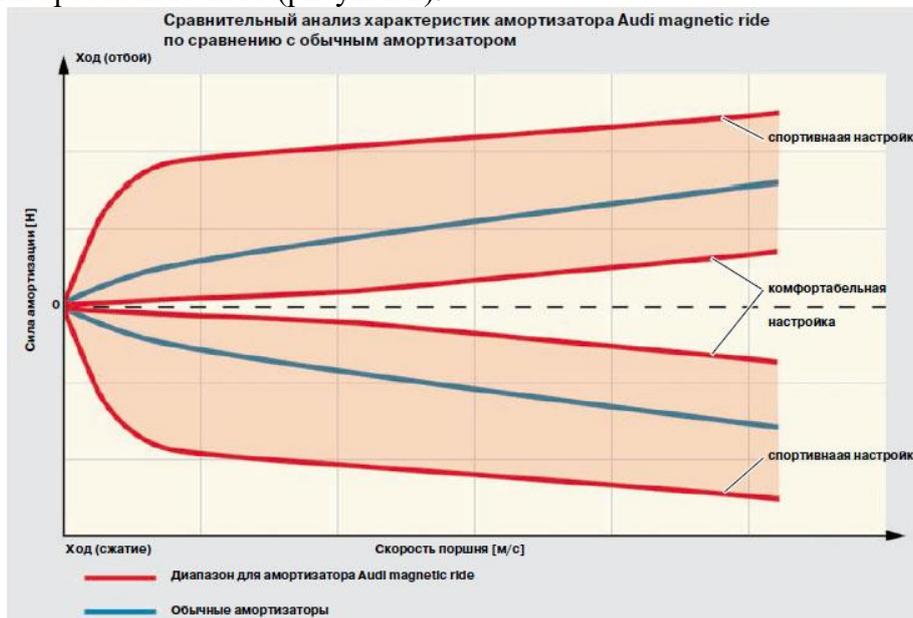


Рис. 2. Сравнительные характеристики обычного амортизатора и магнито-реологического амортизатора

Исследовав график, можно сделать вывод, что устанавливаемые магнито-реологические амортизаторы в легковом автомобиле дают уникальную возможность изменять силу амортизации в зависимости от скорости поршня в достаточно широком диапазоне.

Базовым достоинством МРЖ-амортизаторов является автоматическое управление жесткостью гасителей колебаний при помощи бортового компьютера. Объединение бортового компьютера с датчиками положения кузова (гироскопами) и с магнито-реологическими амортизаторами позволяет определять положение объекта в пространстве с частотой более 1000

раз в секунду и самостоятельно принимать решение о необходимости изменения характеристик демпфирующих устройств, которые в свою очередь могут изменять жесткость до 50 раз в секунду. Данная характеристика позволяет без вмешательства человека реагировать на внешние факторы и практически мгновенно создавать противодействующие силы, поглощающие удары.

Второстепенным преимуществом использования амортизаторов с магнитореологической жидкостью, по сравнению с обычными гидравлическими, является упрощение их конструкции, реализуемое за счет отсутствия перепускных клапанов и использования простейших однотрубных систем [4].

Управление амортизирующей силой не только повышает комфортность поездки, но и уменьшает удары по всей конструкции автомобиля, что, в свою очередь, сокращает количество неисправностей, возникающих вследствие ударных нагрузок [3].

Дополнительным гасителем колебаний, возникающих в высоконагруженных механических системах, не имеющих в своей конструкции гидравлических гасителей колебаний, но использующих пружины, можно отметить магнитоуправляемые гидравлические виброопоры.

Возможность применения виброопор с управлением за счет магнитореологической жидкости [5] необходимо рассматривать не только в конструкции автомобильного транспорта, но и в конструкции железнодорожных вагонов. Таким образом, установка виброопор у основания пружинного комплекта тележек как грузового, так и пассажирского подвижного состава, позволит за счет распределения нагрузки между рессорными комплектами корректировать жесткость и сокращать вибрации, передаваемые от железнодорожного пути к кузову вагона.

Основным достоинством использования магнитоуправляемых виброопор в конструкции железнодорожного подвижного состава является снижение вероятности заневоливания пружин при изменении нагрузок в пределах одного рессорного комплекта.

Применение магнитоуправляемых виброопор в конструкции автотранспорта в узлах крепления силовой установки и трансмиссии позволит значительно снизить вибрации, передаваемые на кузов, что повысит эргономические свойства колесных транспортных средств.

Развитие магнитных жидкостей сегодня делает значительный рывок в области исследования динамики как науки, поскольку человек полностью берет в свои руки управление колебаниями, возникающими в высоконагруженных механических системах. Автоматизация управления процессом поглощения колебаний привлекательна, поскольку позволяет значительно изменить скорости движения за счет сокращения вероятности возникновения резонанса, а также увеличивает долговечность узлов и агрегатов транспорта вследствие сокращения ударных нагрузок на них.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Магнитореологические жидкости: технологии создания и применение: монография / Е.С. Беляев [и др.]; под ред. А.С. Плехова. - Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2017. – 94 с.

2. В. Е. Фертман Магнитные жидкости: Справ. Пособие. – Мн.: Выш. шк., 1988. – 184 с.: ил.

3. Глушак Б.Л., Новиков С.А., Рузанов А.И., Садырин А.И. Разрушение деформируемых сред при импульсных нагрузках. Нижний Новгород: Нижегородский ун-т, 1992. 192 с.

4. Регулируемый магнитореологический пневматический амортизатор: пат.№ 2449188, Российская Федерация: МПК F16F9/08, F16F9/53: Корчагин А.Б., Шалай В.В., Бельков В.Н., Аверьянов Г.С., Хамитов Р.Н., патентообладатели : Государственное Образовательное Учреждение Высшего Профессионального Образования Государственный Технический Университет: заявка № 2010132098/11, от 29.07.2010; опубликовано 27.04.2012, бюл. №12

5. Магнитоуправляемая гидравлическая виброопора и способ настройки оптимального режима её работы пат.№ 2 744 257, Российская Федерация: МПК F16F 13/08: Гордеев Б. А.,

Охулков С. Н., Степанов К. С., Ванягин А. В., Ерофеев В. И., патентообладатели : Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук" (ИПФ РАН): заявка № 2020119987, от 09.06.2020; опубликовано 04.03.2021, бюл. №7.

#### REFERENCES

1. Magnetorheological fluids: technologies of creation and application: monograph / E. S. Belyaev [et al.]; edited by A. S. Plakhov. - Nizhny Novgorod State Technical University. R. E. Alekseev Univ., 2017. - 94 p.
2. V. E. Fertman Magnetic liquids: Reference. Stipend. - Mn.: Higher School, 1988. - 184 p.: ill.
3. Glushak B. L., Novikov S. A., Ruzanov A. I., Sadyrin A. I. Destruction of deformable media under pulsed loads. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod University, 1992. 192 p.
4. ADJUSTABLE MAGNETORHEOLOGICAL PNEUMATIC SHOCK ABSORBER: pat. No. 2449188, Russian Federation: IPC F16F9 / 08, F16F9/53: Korchagin A. B., Shalay V. V., Belkov V. N., Averyanov G. S., Khamitov R. N., patent holders : State Educational Institution of Higher Professional Education State Technical University: Application no. 2010132098/11, dated 29.07.2010; published 27.04.2012, byul. no. 12
5. Magnetically controlled hydraulic vibration support and the ability to adjust the optimal mode of its operation pat. No. 2 744 257, Russian Federation: IPC F16F 13/08: Gordeev B. A., Okhulkov S. N., Stepanov K. S., Vanyagin A.V., Erofeev V. I., patent holders: Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences" (IPF RAS): Application no. 2020119987, dated 09.06.2020; published 04.03.2021, byul. no. 7

#### Информация об авторах

*Пригожаев Степан Сергеевич* – аспирант кафедры Физика, механика и приборостроение, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Stepri@yandex.ru

*Пыхалов Анатолий Александрович* – д.т.н., профессор кафедры «Физика, механика и приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pykhalov\_aa@mail.ru

#### Information about the authors

*Stepan Sergeevich Prigozhaev* – Post-graduate student of the Department of Physics, Mechanics and Instrument Engineering, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Stepri@yandex.ru

*Anatoly Aleksandrovich. Pykhalov* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Physics, Mechanics and Instrumentation, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pykhalov\_aa@mail.ru