

С.С. Пригожаев<sup>1</sup>, А.А. Пыхалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В КОНСТРУКЦИИ НЕТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

**Аннотация.** Рост числа неисправностей, возникающих в узлах и элементах конструкций нетягового подвижного состава вследствие воздействия ударных нагрузок от железнодорожного пути обуславливает необходимость исследования устройств гашения колебаний, применяемых на транспорте.

Создание прогрессивных систем гашения колебаний движется в направлении применения устройств, позволяющих производить управление колебательными процессами. Внедрение магнито-реологических жидкостей в демпферные устройства позволит значительно увеличить быстродействие систем гашения колебаний, что повлечет за собой снижение резонансных явлений.

В данной статье рассматриваются возможности использования магнитных жидкостей не только в системах гашения колебаний, но и в устройствах герметизации буксовых узлов вагонов, а также и другие направления применения МРЖ в нетяговом подвижном составе

**Ключевые слова:** магнито-реологическая жидкость, магнито-жидкостные виброопоры, реологические свойства, демпферы, МРЖ- амортизаторы, магнито-жидкостный герметизатор, динамика вагона.

S.S. Prigozhaev<sup>1</sup>, A.A. Pykhalov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

## POSSIBILITIES OF APPLICATION OF MAGNETORHEOLOGICAL FLUIDS IN THE STRUCTURE OF A NON-TRACTIVE ROLLING STOCK

**Abstract.** The increase in the number of malfunctions that occur in the nodes and structural elements of non-traction rolling stock due to the impact of shock loads from the railway track makes it necessary to study vibration damping devices used in transport.

The creation of progressive vibration damping systems is moving towards the use of devices that allow the control of oscillatory processes. The introduction of magnetorheological fluids in damping devices will significantly increase the speed of vibration damping systems, which will lead to a decrease in resonant phenomena.

This article discusses the possibilities of using magnetic fluids not only in vibration damping systems, but also in sealing devices for boxcar assemblies, as well as other areas of application of MRL in non-traction rolling stock

**Keywords:** magnetorheological fluid, magnetofluidic vibration supports, rheological properties, dampers, MRL-shock absorbers, magnetofluidic sealer, car dynamics

### Введение

Магниточувствительные жидкости в настоящее время применяются при создании управляемых по функциональности и надежности механических систем. Они создаются на стыке достижений таких наук, как физика, химия, трибология, электропривод, механика и другие. В результате этой деятельности создан новый класс жидкостей с влиянием на них магнитного поля (магнитоуправляемых) или имеющими магнито-реологические [1] свойства.

Известно, что реологическими свойствами обычных жидкостей являются: вязкость, предел текучести, модуль сдвига и другие. Эти параметры для них могут изменяться под действием внешних условий, в основном, в виде температуры. В то же время, их использование в качестве рабочих жидкостей механических систем не предполагает изменения 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 магнито-реологических жидкостей.

Таким образом, актуальность применения магнито-реологических жидкостей заключается в возможности реализации динамического характера регулирования жесткости элементов подвески в конструкции подвижного состава, например, гасителей (демпферов) колеба-

ний и других, осуществляемого как под управлением человека, так и в автоматическом режиме, определяемом условиями движения.

### Магнитореологические жидкости

Цель работы заключается в изучении комплекса возможностей применения магнитореологических жидкостей в конструкции железнодорожного вагона.

Вышеуказанная цель предполагает решение следующих задач:

1. Проанализировать состав и свойства магнитореологических жидкостей, а также диапазон изменения их свойств под действием магнитного поля;
2. Исследовать, имеющиеся на сегодня, тенденции, направления или сферы разработки гасителей колебаний, работающих на основе магнитореологических жидкостей;
3. Выявить узлы и детали нетягового подвижного состава железных дорог (ЖД), замена которых возможна на аналогичные, но с возможностью регулирования параметров жесткости рабочего тела (демпфирования колебаний).

Физической основой магнитореологических жидкостей (МРЖ) являются коллоидные растворы, включающие частицы магнетиков размером от десятков микрометров до единиц нанометров, взвешенных в жидкости, например, в воде, синтетическом масле или органическом растворителе и стабилизированных поверхностно-активными веществами[2]. В качестве магнетиков в магнитореологической жидкости (таблица 1) используются металлы, их сплавы и оксиды [1].

Таблица 1 – Марки магнитореологических жидкостей, производимых ПНИЛ ПФГД

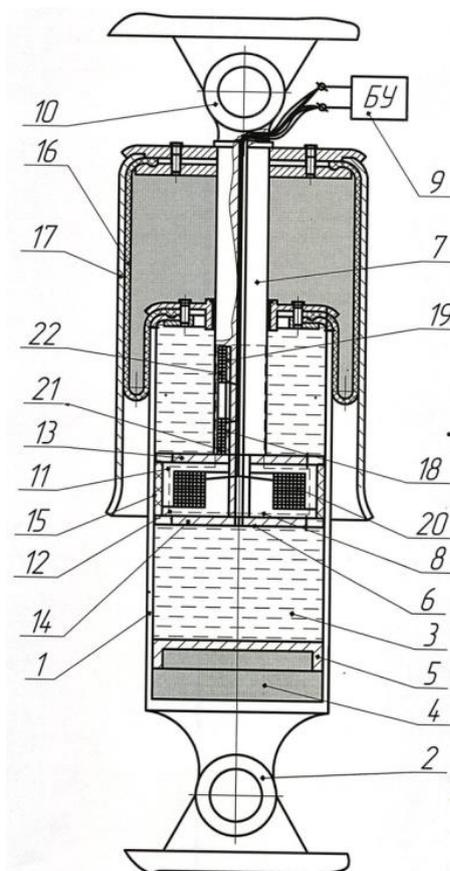
Тип МЖ	Жидкость-носитель	Диапазон рабочих температур	Динамическая вязкость Па*с	Намагниченность насыщения кА/м	Области применения
МК1-25	Силоксановая жидкость	-50 - +70	0,5-0,6	20-30	Высоковакуумные уплотнения для герметизации ввода вращательного движения в вакуумный объем
МК8-40	Трансформаторное масло	-70 - +70	0,03-0,8	20-75	Демпферы, магнитные смазки
МКС00 3-60	Силоксановая жидкость	-50 - +70	0,003-0,02	10-70	Датчики угла наклона, акселерометры

Основные характеристики магнитореологических жидкостей для различных областей применения (таблица 1) представлены основным их разработчиком на территории Российской Федерации - Проблемной научно-исследовательской лабораторией прикладной феррогидродинамики Ивановского энергетического университета (ПНИЛ ПФГД).

Одним из основных направлений применения магнитореологических жидкостей является работа амортизаторов, например, в конструкции легковых автомобилей «AUDI». Чаще всего в этом случае в конструкции амортизатора в качестве магнитореологической жидкости используется высокодисперсная суспензия, основой которой является углеводородное масло с введенными в него магнитными частицами карбонильного железа. Для решения проблем работы подвески автомобиля в диапазоне, обеспечивающем условия его комфортности, доля магнетика достигает 40%. [1]

Принцип работы магнитореологического амортизатора заключается в возможности управления силой поглощения энергии колебаний за счет изменения свойств рабочего тела амортизатора (магнитореологической жидкости), под воздействием магнитного поля, создаваемого электромагнитной катушкой, установленной, например, внутри корпуса демпфера.

Схема магнитореологического амортизатора, характеризующая принцип его работы представлены ниже на рисунке 1 [6].



**Рис. 1. Схема магнитореологического амортизатора:**

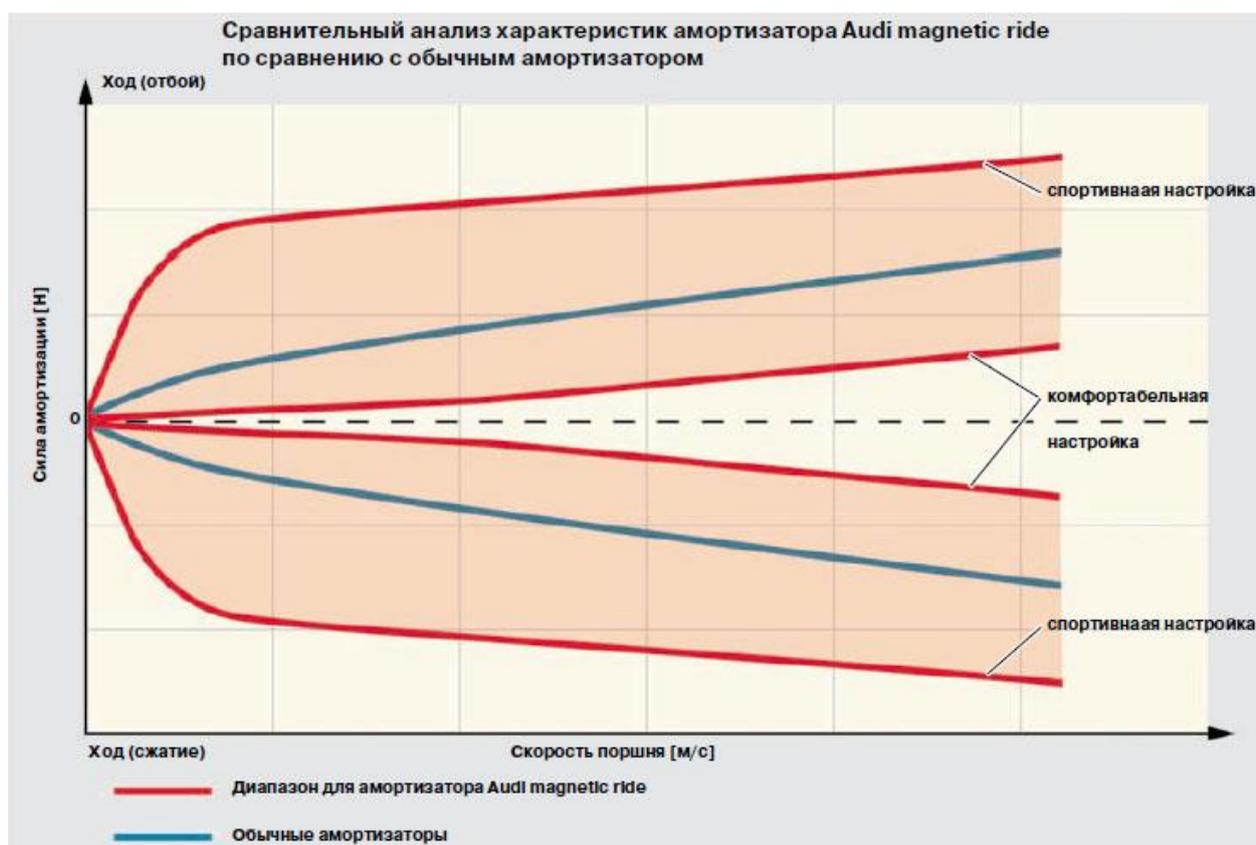
**1-Корпус; 2-установочный узел; 3- цилиндрическая камера, заполненная магнитореологической жидкостью; 4- компенсационная камера; 5- разделительный поршень; 6- рабочий поршень; 7- полый шток; 8- соленоидная катушка; 9- блок управления; 10- установочный узел; 11;12- чередующиеся полюсы; 13; 14- магнитоизолирующие шайбы; 15- антифрикционная магнитоизолирующая прокладка; 16- пневматический упругий элемент; 17-пуансон; 18;19- сердечники; 20;21;22- секции катушки**

Дополнительным 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.

Эволюция развития демпфирующих устройств выглядит следующим образом:

1. Переход от гидравлических амортизаторов к пневматическим позволил изменять жесткость подвески и тем самым изменять управляемость транспортным средством.
2. Переход от пневматической системы демпфирования к МРЖ- амортизаторам позволяет значительно ускорить управление жесткостью подвески транспортного средства.

Однако, основным преимуществом применения МРЖ-амортизаторов можно обозначить использование с целью управления жесткостью бортового компьютера. Связка бортового компьютера с датчиками положения кузова (гироскопами) и с магнитореологическими 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. Е.С. Беляев в своей монографии [1] представляет сравнительные характеристики магнитореологического и обычного амортизаторов (рис. 2).



Изучив вышеуказанный график (рисунок 2), можно сказать, что применение магнито-реологических амортизаторов в конструкции легкового автомобиля позволяет производить изменение силы амортизации в зависимости от скорости поршня в достаточно широком диапазоне. График дает наглядное сравнение зоны изменения силы амортизации как при ходе отбоя, так и при ходе сжатия. По сравнению с обычным амортизатором, использование МРЖ – амортизатора, дает возможность, как увеличивать, так и уменьшать силу амортизации в приблизительно равных диапазонах.

Управление демпфирующей силой дает не только эффект «комфортности», но и уменьшает удары по всей конструкции автомобиля, что, в свою очередь, сокращает количество неисправностей, возникающих вследствие ударных нагрузок.

Необходимо исследовать и дополнительные возможности применения магниточувствительных жидкостей. Так, первоначально свое применение они нашли при исследовании космоса.

Американские ученые впервые использовали магнито-реологические жидкости при создании космических скафандров, в которых астронавты высадились на Луну. Главной целью применения этих жидкостей стало сокращение утечек при конструировании свободновращающихся шлемов.

Таким образом, начались исследования использования магниточувствительных жидкостей в качестве устройств, обеспечивающих сокращение утечек жидкостей и газов в местах соединения нескольких деталей, работающих, в том числе, и в динамических условиях - магнито-жидкостных герметизаторов[4].

Основным преимуществом магнито-жидкостных герметизаторов можно указать практически полное отсутствие утечек герметизируемой среды.

Другими достоинствами таких герметизаторов являются:

1. Малый момент сопротивления
2. Высокая ремонтпригодность;
3. Минимальный износ, достигаемый за счет полностью жидкостного трения между деталями.

При всем обилии достоинств необходимо указать и недостатки применения магнито-жидкостных герметизаторов по сравнению с применяемыми сегодня классическими устройства герметизации (сальниками).

Основным недостатком необходимо выделить потребность проведения исследований на совместимость герметизируемой среды и магнитной жидкости. Также к недостаткам стоит отнести снижение эффективности герметизации при скоростях выше 90 км/ч или при температуре 100 °С и более.

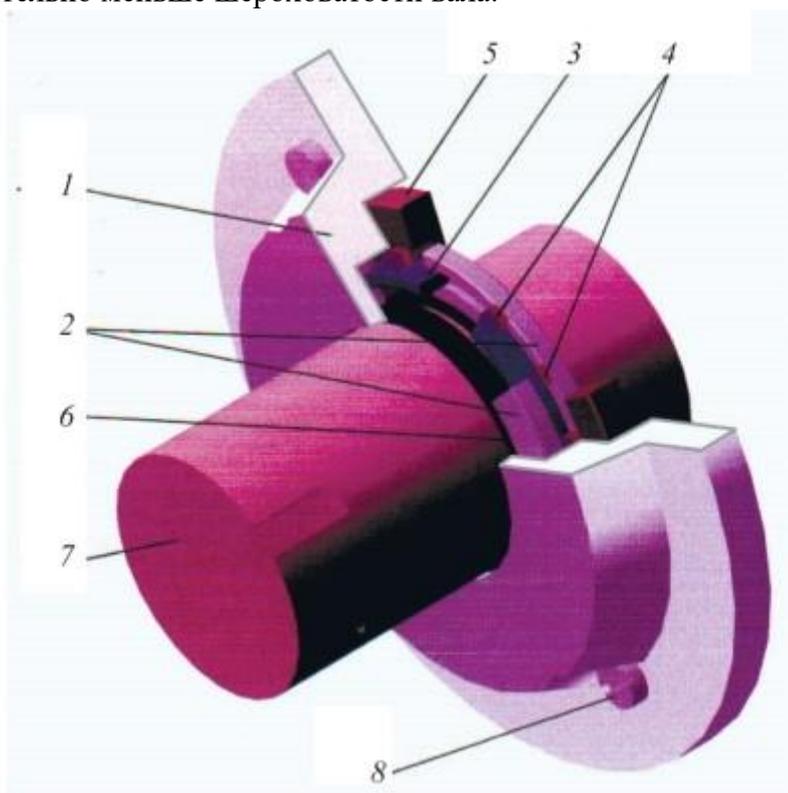
Стоит отметить, что эффективность и надежность при наложении температурных и скоростных ограничений использования магнитного герметизатора значительно выше чем у известных сегодня классических герметизирующих уплотнений.

Конструктивно магнито-жидкостный герметизатор достаточно прост и представляет собой установленные в корпусе два магнитопровода охватывающих вал и постоянные магниты.

На рисунке 3 представлено классическое исполнение магнито-жидкостного герметизатора.

Основой работы такой конструкции является магнитное поле возникающее от постоянных магнитов втягивающее в зазор между валом и полюсными наконечниками магнитную жидкость, которая за счет сил поверхностного натяжения выполняет работу сальника[4].

Стоит отметить, что в такой конструкции износ вала сводится к минимальным значениям, за счет того, что возникающее трение является жидкостным. Абразивное воздействие магнетика в магнитореологической жидкости практически не происходит, поскольку размер частиц значительно меньше шероховатости вала.



**Рис. 3. Магнито-жидкостный герметизатор:**

**1- корпус; 2- полюсные наконечники (магнитопровод); 3- разделительное кольцо; 4- магниты; 5- крышка; 6- магнитореологическая жидкость; 7- вал; 8- крепежный винт**

Сегодня в конструкции нетягового подвижного состава полностью отсутствуют элементы, рабочим телом которых являются магнитные жидкости. Используемые сегодня демпферы вагона представляют собой классические демпферы, имеющие постоянную жесткость, например пружины или гидравлические гасители колебаний.

Внедрение в конструкцию пассажирского подвижного состава МРЖ – амортизаторов позволит создать более комфортные условия для перевозимых пассажиров, а при использовании в конструкции грузового подвижного состава даст уникальную возможность контролировать и управлять упругими ударами, возникающими во время прохождения стыков, с учетом загруженности вагона и его перекаса относительно тележек.

МРЖ – амортизаторы создадут условия, позволяющие производить полный контроль и управление за такими перемещениями, как: боковой относ, подергивание, подпрыгивание, боковая качка, галопирование, виляние.

Внедрение управления и контроля за перемещением кузова вагона сведет к минимальным значениям неравномерный износ практически всех узлов и деталей вагона.

Рассмотрим дополнительные возможности использования магнитореологических жидкостей в конструкции нетягового подвижного состава:

1. Использование магнитоуправляемых гидравлических 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. Использование магнитоуправляемых виброопор сократит вероятность заневаливания пружин при изменении нагрузок в пределах одного рессорного комплекта. Также применение виброопор позволит регулировать в рамках одной тележки боковую качку, а при обработке данных с двух тележек появится возможность управлять остальными перемещениями кузова вагона относительно тележек. Это значительно сократит износ фрикционных клиньев Ханина и нагрузки на ролики буксового узла.

2. В пассажирском вагоне с целью изменения колебаний возможно применение магнитореологических жидкостей не только как виброопоры для рессорного подвешивания наддресорной балки, но и буксового подвешивания.

3. В конструкции пассажирских вагонов с целью снижения долго не затухающих горизонтальных и вертикальных колебаний, возникающих в результате проезда подвижным составом стрелочных переводов, неровностей пути, кривых участков наравне с пружинными комплектами устанавливаются гидрогасители.

При замене применяемых сегодня гидрогасителей колебаний на магнитореологические гасители, появляется возможность, в зависимости от возникающих колебаний и наличия пассажиров в вагоне, изменять его характеристику, что позволит вести полный контроль за перемещением кузова вагона относительно тележек и пути.

4. Еще одним местом применения магнитореологических жидкостей являются поглощающие аппараты. Данное внедрение позволит регулировать его характеристики в зависимости от вида его работы. Так, при соударении вагонов между собой или локомотива с вагонами, поглощающий аппарат с магнитореологической жидкостью в основе путем плавного изменения вязкости под воздействием магнитного поля произведет замедление перемещения хвостовика автосцепки, тем самым демпфирует энергию удара. Второй задачей поглощающего аппарата является снижение растягивающих и сжимающих усилий, передающихся на хребтовую балку. При использовании магнитореологической жидкости также появляется возможность регулировки в автоматическом режиме усилий и созданию условий плавного начала движения и плавной остановки, в том числе и при экстренном торможении.

5. Магнитожидкостные герметизаторы могут найти свое применение в конструкции буксового узла. Попадание влаги, в том числе мелкодисперсной, вызывает неисправность буксового узла «обводнение смазки» [2]. Попадание воды в смазку роликовых букс приводит к потере ее предназначения, вследствие чего подшипник начинает работать в условиях недостатка смазки, что приводит к проскальзыванию роликов при качении по кольцам. Резко возрастают силы трения скольжения, что приводит к повреждению торцов роликов и буртов колец, а у сепаратора появляется износ центрирующей поверхности [2]. От попадания влаги в подшипнике возникает коррозия металлических деталей. Структура металла от повышенного

нагрева изменяется, появляются усталостные раковины на дорожках качения внутреннего кольца [2].

6. На сегодня известны случаи самопроизвольного открывания автоматических дверей пассажирского подвижного состава в результате воздействия внешней среды.

Так, 06 июля 2019 года у электропоезда серии ЭС-1 (коммерческое название «Ласточка»), при встречном разъезде на скорости около 150 км/ч от воздействия ударной волны, создаваемой встречным подвижным составом, произошло частичное открывание двери. Поездная бригада вынуждена подвергать себя опасности и производить закрывание двери на высоких скоростях в ручном режиме. С целью повышения безопасности при возникновении подобных ситуаций, возможно применение гидроцилиндров с магнитореологической жидкостью. Изменение вязкости до максимально приближенного состояния к характеристикам твердого тела будет дополнительной системой пассивной безопасности и позволит удерживать дверь в закрытом состоянии.

#### **Заключение**

В наше время развитие магнитных жидкостей выходит на новый уровень и их применение допустимо в различных сферах промышленности. В этой работе представлен далеко не полный перечень возможностей применения магнитореологических жидкостей в конструкции нетягового грузового и пассажирского подвижного состава.

### **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. Техническая информация «Регионального Центра Инновационных Технологий» Роликовый буксовый узел вагона. виды неисправностей
3. В. Е. Фертман Магнитные жидкости: Справ. Пособие. – Мн.: Выш. шк., 1988. – 184 с.: ил.
4. Каныгин Я.В. Моделирование и расчет герметизаторов на основе магнитной жидкости // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016024192>><https://scienceforum.ru/2016/article/2016024192> (дата обращения: 03.05.2021 ).
5. 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.
6. 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

### **REFERENCES**

1. Magnetorheological fluids: technologies of creation and application: monograph / E.S. Belyaev [et al.]; edited by A. S. Plakhov. - Nizhny Novgorod State Technical R. E. Alekseev University., 2017. - 94 p.
2. Technical information of the "Regional Center for Innovative Technologies" Roller box unit of the car. types of malfunctions
3. V. E. Fertman Magnetic liquids: Reference. Stipend. - Mn.: Higher School, 1988. - 184 p.: ill.

4. Kanygin, A. V. Modeling and calculation of magnetic fluid-based sealants // proceedings of the VIII International scientific student conference "Student scientific forum" URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016024192>"><https://scienceforum.ru/2016/article/2016024192> (date accessed: 03.05.2021 ).

5. Glushak, B. L., Novikov S. A., Ruzanov A. I., A. I. Sadyrin the Destruction of deformable media under impulse loads. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod University, 1992. 192 p.

6. 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

### **Информация об авторах**

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

### **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](mailto: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](mailto:pykhalov_aa@mail.ru)

### **Для цитирования**

Пригожаев С.С. Возможности применения магнитореологических жидкостей в конструкции нетягового подвижного состава [Электронный ресурс] / С.С. Пригожаев, А.А. Пыхалов // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – №1 (11). – Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

### **For citation**

Prigozhaev S.S., Pykhalov A.A. *Vozmozhnosti primeneniya magnitoreologicheskikh zhidkostey v konstruktsii netyagovogo podvizhnogo sostava* [Possibilities of using magnetorheological fluids in the construction of non-traction rolling stock]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 1 (11).