

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕКУПЕРАТИВНЫХ АМОРТИЗАТОРОВ В ПОДВЕСКЕ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Вадим Олегович Никонов¹, Валерий Иванович Посметьев²

^{1,2} Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,

г. Воронеж, Россия,

² 8888nike8888@mail.ru

Аннотация. В статье обоснована актуальность разработки и практического применения рекуперативных амортизаторов для повышения энергоэффективности автомобильного транспорта за счет использования рассеиваемой в подвеске энергии. Рассмотрено преимущество линейных электромагнитных систем перед другими типами благодаря их высокому КПД, надежности и возможности интеграции в активные подвески. Разработана математическая модель вертикальной динамики автомобиля, позволяющая оценить энергию, рекуперированную при движении по различным дорожным профилям. Выявлено критическое влияние условий эксплуатации, таких как скорость движения, масса автомобиля и параметры дорожных неровностей, на эффективность процесса рекуперации. Установлено, что максимальный энергосберегающий эффект технологии достигается в городском цикле движения для транспортных средств с меньшей снаряженной массой.

Ключевые слова: рекуперация, электромагнитный амортизатор, энергоэффективность, автомобильная подвеска, математическое моделирование, линейный генератор, активное демпфирование.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ELECTROMAGNETIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBERS IN A PASSENGER CAR SUSPENSION

Vadim Olegovich Nikonov¹, Valery Ivanovich Posmetev²

^{1,2} Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,

Voronezh, Russia,

² 8888nike8888@mail.ru

Abstract. The article substantiates the relevance of developing and practically implementing regenerative shock absorbers to improve the energy efficiency of automotive vehicles by utilizing the energy dissipated in the suspension. The advantage of linear electromagnetic systems over other types is considered, due to their high efficiency, reliability, and ability to be integrated into active suspensions. A mathematical model of the vehicle's vertical dynamics has been developed, enabling an assessment of the energy recuperated while driving on various road profiles. The critical influence of operating conditions, such as vehicle speed, mass, and road irregularity parameters, on the efficiency of the recuperation process has been identified. It has been established that the maximum energy-saving effect of the technology is achieved in urban driving cycles for vehicles with a lower curb weight.

Keywords: regeneration, electromagnetic shock absorber, energy efficiency, vehicle suspension, mathematical modeling, linear generator, active damping.

Автомобильный транспорт сталкивается с острой проблемой крайне низкой энергоэффективности, где лишь около 16 % энергии топлива фактически полезно

используется для движения автомобиля. Значительная часть потерь, традиционно не учитываемая, связана с рассеиванием энергии в подвеске, которая преобразует кинетическую энергию колебаний кузова, вызванных неровностями дороги, в бесполезное тепло. Исследования показывают, что для автомобиля среднего класса при скорости 90 км/ч мощность этих потерь достигает 1-1,4 кВт, что сопоставимо с потреблением бортового электрооборудования. Таким образом, система подвески представляет собой неиспользуемый резерв для повышения общей эффективности транспортного средства. Разработка технологий рекуперации этой вибрационной энергии является актуальной задачей в контексте глобального стремления к энергосбережению [1, 2].

Проблема энергоэффективности напрямую связана с экологическим аспектом, поскольку сфера перевозок ответственна за 26 % глобальных выбросов углекислого газа. Повышение расхода топлива из-за бесполезных потерь в амортизаторах ведет к росту объема вредных выбросов в атмосферу. Внедрение рекуперативных амортизаторов позволяет частично разгрузить, а в ряде случаев даже исключить генератор, снижая механическую нагрузку на двигатель внутреннего сгорания и, как следствие, расход топлива. Теоретические расчеты демонстрируют потенциал экономии топлива до 10 % только за счет восстановления энергии подвески, что в масштабах мирового автопарка составляет миллионы литров сэкономленного топлива. Следовательно, данная технология вносит прямой вклад в выполнение экологических нормативов и достижение целей устойчивого развития [3, 4].

Наиболее перспективным направлением являются электромагнитные рекуперативные амортизаторы, которые обладают рядом преимуществ перед гидравлическими и пьезоэлектрическими аналогами. Их ключевые достоинства включают высокий КПД, минимальную чувствительность к температурным колебаниям и возможность интеграции с системами активной подвески. Однако массовому внедрению препятствуют технико-экономические вызовы, такие как высокая стоимость и не всегда оптимальное соотношение массы к вырабатываемой мощности по сравнению с классическими демпферами. Преодоление этих барьеров для создания компактного, надежного и экономически оправданного решения является ключевой задачей для текущих исследований в данной области. Успешная реализация этой технологии позволит не только повысить энергоэффективность, но и открыть путь к созданию полностью автономных активных подвесок [5].

Анализ выявленных научно-исследовательских работ позволил выделить ряд наиболее перспективных конструктивных типов электромеханических подвесок с функцией рекуперации энергии (табл. 1). Данные системы принципиально различаются по способу преобразования механической энергии колебаний в электрическую, и каждая из них обладает уникальным комплектом эксплуатационных и технико-экономических характеристик [8-10].

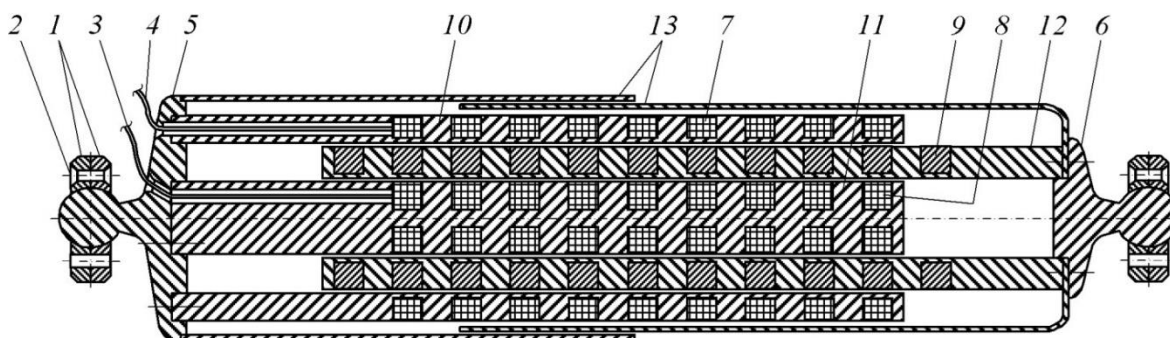
Таблица 1 – Сравнительная таблица типов электромагнитных рекуперативных подвесок
Table 1 – Comparison table of types of electromagnetic regenerative suspensions

Тип подвески	Принцип работы	Ключевые преимущества	Основные недостатки
1 Роторные 1.1 Шарико-винтовая	Линейное движение преобразуется во вращение через высокоточный	Высокая точность, большой передаточный коэффициент,	Затухание демпфирования на высоких частотах, люфт, механический износ

1.2 Реечно-шестерёнчатая	шариковинтовой механизм Линейное движение через кинематическую пару «рейка-шестерня» преобразуется во вращение	высокий КПД, компактность Простота конструкции, высокий КПД	Высокие потери на трение, уязвимость к ударным нагрузкам (риск поломки зубьев)
1.3 Рычажная	Движение подвески через рычажный механизм поворачивает вал генератора	Малый момент инерции, высокая скорость отклика	Сложность установки и управления, плохая устойчивость к ударам
2 Линейные	Отсутствует механический преобразователь, Подвижная часть (катушка / магнит) движется прямолинейно, напрямую генерируя ЭДС	Высокая частота отклика, высокая точность, высокий КПД, высокая надежность, идеальное соответствие ходу подвески	«Концевой эффект», большая масса и габариты, «мертвые зоны» в работе, высокая стоимость.
3 Гидро-электрические	Движение подвески приводит в действие гидронасос, создающий поток жидкости, который вращает гидромотор, соединенный с генератором	Гибкость компоновки, высокий КПД, большое демпфирующее усилие, устойчивость к ударным нагрузкам	Сложность конструкции, риск утечек жидкости, низкая удельная мощность, необходимость дополнительных компонентов (насос, мотор, клапаны)

Проведенный сравнительный анализ подтверждает, что разработка и внедрение рекуперативных электромагнитных амортизаторов является не просто способом повышения энергоэффективности транспортного средства, а стратегическим направлением в создании интеллектуальных шасси нового поколения. Помимо очевидного преимущества в виде возврата части энергии, рассеиваемой в традиционных демпферах, данные системы открывают путь к реализации адаптивного и полноценно активного управления подвеской. Это позволяет в реальном времени оптимизировать параметры демпфирования для обеспечения одновременно высокой комфортабельности и устойчивости, что недостижимо для пассивных систем.

Учитывая это, авторами предложена перспективная схема линейного электромагнитного амортизатора с кольцевым магнитом и двойным статором (рис. 1). Принцип действия рекуперативного амортизатора на основе линейного электродвигателя заключается в следующем. Амортизатор устанавливается в ходовой части транспортного средства между рамой и поддрессоренным движителем с помощью монтажных узлов и оснований. При движении по неровностям дороги основания амортизатора совершают возвратно-поступательное движение друг относительно друга. -



1 – сферические опоры; 2 – крепежные элементы; 3, 4 – силовые выводы обмоток; 5, 6 – защитные торцевые крышки; 7, 8 – наружная и внутренняя обмотки статора; 9 – кольцевой постоянный магнит; 10, 11 – неподвижные внешний цилиндр и центральный стержень; 12 – подвижный цилиндр; 13 – защитные кожухи
Рисунок 1 – Перспективная схема рекуперативного амортизатора на постоянных магнитах

1 – spherical supports; 2 – fasteners; 3, 4 – winding power terminals; 5, 6 – protective end caps; 7, 8 – outer and inner stator windings; 9 – ring permanent magnet; 10, 11 – fixed outer cylinder and central rod; 12 – movable cylinder; 13 – protective covers

Figure 1 – Perspective diagram of a permanent magnet regenerative shock absorber

Это приводит к осевому перемещению узла, состоящего из втулки с кольцевыми постоянными магнитами, относительно неподвижно закрепленных обмоток – внутренних на стержне и внешних на втулке. Относительное движение магнитов и обмоток вызывает изменение магнитного потока через катушки, что, в соответствии с законом электромагнитной индукции, генерирует в последовательно соединенных обмотках электродвижущую силу. Величина наведенной электродвижущей силы пропорциональна скорости взаимного перемещения частей амортизатора. Таким образом, механическая энергия колебаний, которая в традиционных амортизаторах рассеивается в тепло, в данном устройстве преобразуется в электрическую энергию. Эта рекуперированная энергия через выводы отводится для питания бортовых потребителей транспортного средства. Ключевое преимущество конструкции заключается в повышенной эффективности за счет одновременного использования магнитного поля с двух сторон кольцевых магнитов как внутренними, так и внешними обмотками [6, 7].

Для оценки эффективности электромагнитного рекуперативного амортизатора была разработана математическая модель вертикальной динамики автомобиля, основанная на системе дифференциальных уравнений двухмассовой подвески.

Вертикальная динамика описывалась системой дифференциальных уравнений двухмассовой модели подвески:

$$\begin{aligned} m_s \cdot \frac{d^2 z_s}{dt^2} &= -k_s \cdot (z_s - z_u) - c_e \cdot \left(\frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right), \\ m_u \cdot \frac{d^2 z_u}{dt^2} &= -k_s \cdot (z_s - z_u) - c_e \cdot \left(\frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right) - k_t \cdot (z_u - z_r), \end{aligned} \quad (1)$$

где m_s – поддрессоренная масса кузова, кг; m_u – неподдрессоренная масса колеса, кг; z_s – вертикальное перемещение кузова, м; z_u – вертикальное перемещение колеса, м; k_s – жесткость пружины подвески, Н/м; c_e – коэффициент демпфирования, Н·с/м; k_t – жесткость шины, Н/м; z_r – профиль дороги, м.

Мощность рекуперации рассчитывалась по уравнению:

$$P(t) = \left(\frac{k_m^2}{R} \right) \cdot \left(\frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right)^2, \quad (2)$$

где $P(t)$ – мгновенная мощность рекуперации, Вт; k_m – коэффициент электромеханической связи; R – сопротивление нагрузки, Ом.

Нелинейное демпфирование учитывалось через зависимость:

$$c_t(v) = c_e + c_n \cdot \tanh\left(\frac{v}{0,5}\right), \quad (3)$$

где c_t – суммарный коэффициент демпфирования, Н·с/м; c_n – нелинейная составляющая демпфирования, Н·с/м; v – относительная скорость $\left(\frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right)$, м/с.

Профиль дороги для периодических неровностей, описывался как:

$$z_r(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t). \quad (4)$$

Профиль дороги для случайных неровностей, описывался как:

$$z_r(t) = A \cdot f_{cl}(t), \quad (5)$$

где A – амплитуда неровностей, м; f – частота неровностей, Гц; $f_{cl}(t)$ – случайная функция с заданным спектром.

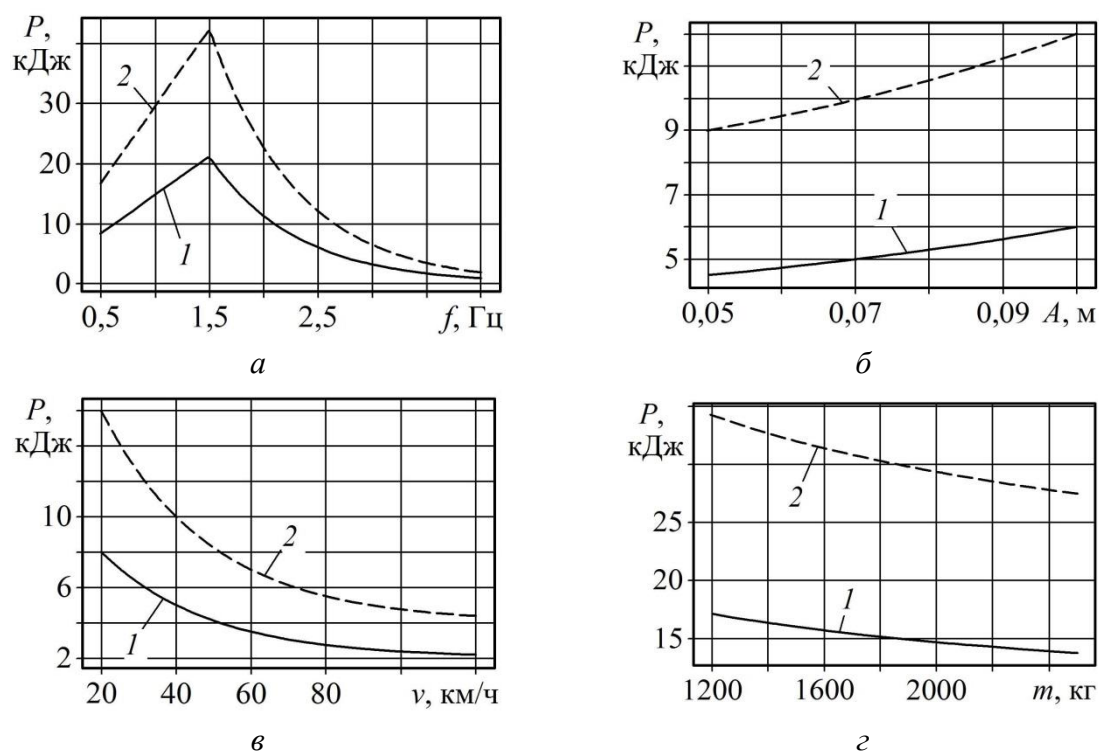
Энергия рекуперации определялась интегрированием от 0 до T :

$$E = \int P(t) dt, \quad (6)$$

где E – суммарная рекуперированная энергия, Дж; T – время движения, с.

Расчеты разработанной математической модели движения автомобиля, оснащенного электромагнитными рекуперативными амортизаторами, проводились методом численного интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений колебаний подвески 2-го порядка, преобразованных в систему уравнений 1-го порядка и решаемых методом Рунге-Кутты 4-5 порядка с переменным шагом интегрирования, определяемым требуемой точностью вычислений, с последующим определением рекуперированной энергии через численное интегрирование мощности по времени методом трапеций для различных эксплуатационных сценариев. Модель основана на ряде допущений, включая линейность характеристик пружин и демпферов, постоянство электромагнитных параметров, отсутствие учета температурных эффектов и поперечных колебаний, что позволило сфокусироваться на анализе вертикальной динамики системы. Ограничениями выступили одномерность модели, постоянство скорости движения при параметрическом анализе и стационарность дорожных условий, что обеспечило воспроизводимость результатов при сохранении адекватности физическим процессам.

Диапазоны варьирования параметров охватывали типичные условия эксплуатации: частоту неровностей 0,5-4 Гц (резонансные режимы подвески), высоту неровностей 0,05-0,1 м (от микропрофиля до выраженных дефектов), скорость 20-120 км/ч (городской и загородный циклы) и полную массу автомобиля 1200-2500 кг (от снаряженного состояния до полной загрузки), что обеспечило репрезентативность оценки энергоэффективности рекуперативной подвески в реальных дорожных условиях.



1, 2 – 4 и 8 электромагнитных рекуперативных амортизатора подвески

Рисунок 2 – Графики зависимостей рекуперированной энергии от частоты неровностей – а, высоты неровностей опорной поверхности – б, скорости движения автомобиля – в и массы автомобиля – г

1, 2 – 4 and 8 electromagnetic regenerative suspension shock absorbers

Figure 2 – Graphs of the dependence of regenerated energy on the frequency of unevenness – а, the height of the uneven supporting surface – б, the vehicle speed – в and the vehicle mass – г

На графике зависимости рекуперированной энергии от частоты неровностей (рис. 2, а) наблюдается ярко выраженный резонансный пик при 1,5 Гц с последующим экспоненциальным спадом. В диапазоне 0,5-1,5 Гц рост энергии обусловлен приближением к резонансной частоте подвески, где амплитуда колебаний максимальна, что увеличивает относительную скорость между кузовом и колесом. Пик при 1,5 Гц соответствует максимальному коэффициенту передачи колебаний от дороги к подвеске, когда относительная скорость достигает максимума, что квадратично увеличивает мощность рекуперации. В диапазоне 1,5-4 Гц резкое падение энергии объясняется уходом от резонансной зоны, уменьшением амплитуды колебаний и ростом инерционных сил, ограничивающих перемещения. Конфигурация с 8 амортизаторами сохраняет пропорциональность 2 : 1 по всей частотной характеристике, что подтверждает линейность модели по количеству генераторов.

График зависимости рекуперированной энергии от высоты неровностей (рис. 2, б) демонстрирует монотонный рост с переходом от линейной к сверхлинейной зависимости. На линейном участке (0,05-0,08 м) рост энергии пропорционален увеличению хода подвески – большие неровности вызывают большие относительные перемещения, что линейно увеличивает генерируемую ЭДС. Сверхлинейный рост (0,08-0,1 м) обусловлен нелинейными эффектами: увеличением электромагнитного демпфирования при больших скоростях, выходом на режим насыщения магнитной системы и усилением нелинейных характеристик демпфирования. Энергетический анализ показывает, что при амплитуде 10 см энергия в 3-4 раза превышает значения при

5 см, что свидетельствует о значительном потенциале рекуперации на плохих дорогах.

На графике зависимости энергии от скорости автомобиля (рис. 2, в) наблюдается экспоненциальный спад с переходом к насыщению при высоких скоростях. В оптимальной зоне (20-60 км/ч) достигается сочетание достаточной частоты воздействия и значительных амплитуд колебаний, когда подвеска успевает полноценно отрабатывать неровности. Критический спад (60-90 км/ч) обусловлен увеличением частоты воздействия при уменьшении времени контакта с неровностью, преобладанием инерционных сил над упругими силами. В режиме насыщения (> 90 км/ч) подвеска перестает эффективно обрабатывать мелкие неровности, работая в режиме ограниченного хода. Практическое значение заключается в том, что максимальная эффективность рекуперации достигается в городском цикле движения.

График зависимости энергии от массы автомобиля (рис. 2, г) показывает монотонное убывание с наибольшей скоростью в зоне нормальной загрузки. Для легкого автомобиля (1200-1500 кг) высокая энергоотдача обусловлена большими относительными ускорениями, меньшим демпфирующим эффектом массы и более выраженными резонансными явлениями. При средней загрузке (1500-2000 кг) происходит постепенное снижение эффективности из-за увеличения жесткости эффективной подвески, снижения амплитуды колебаний и увеличения роли статических деформаций. При полной загрузке (2000-2500 кг) наблюдается стабилизация на низком уровне, поскольку подвеска работает вблизи предельного хода и преобладает статическое прогибание над динамическими колебаниями. Коэффициент эффективности показывает, что при полной загрузке энергоотдача снижается на 35-40 % относительно номинальной массы.

Результаты выполненного исследования позволяют сделать следующие выводы:

1) Рекуперация энергии в подвеске обладает значительным энергосберегающим потенциалом. Традиционные амортизаторы рассеивают в тепло мощность 1-1,4 кВт, что сопоставимо с потреблением бортовой сети автомобиля. Внедрение рекуперативных систем позволяет в теории экономить до 10 % топлива, что в глобальном масштабе означает миллионы литров ежегодно и прямой вклад в снижение выбросов CO₂.

2) Среди различных конструкций линейные электромагнитные амортизаторы являются наиболее перспективными. Несмотря на проблемы с массой и «концевым эффектом», они обладают ключевыми преимуществами: высокий КПД благодаря отсутствию механических преобразователей, высокая надежность и идеальное соответствие колебательному процессу, что открывает путь к созданию интеллектуальных систем активного управления.

3) Эффективность рекуперации критически зависит от условий эксплуатации. Математическое моделирование показало, что максимальная энергоотдача достигается в зоне низких частот, соответствующих резонансу подвески (~1,5 Гц), и на дорогах с выраженными неровностями. Наибольший практический эффект технология будет иметь в городском цикле движения (скорость 20-60 км/ч) на автомобилях с меньшей снаряженной массой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ganesh M. Fodase, Praeep R. Gaikwad Review of potential of Regenerative Hybrid Suspension System as a future technology for suspension. Alochana Journal. Vol. 13, Issue 5, 2024, pp. 15-31.
2. Fu C, Lu J, Ge W, Tan C, Li B. A Review of Electromagnetic Energy Regenerative Suspension System & Key Technologies. Comput Model Eng Sci. 2023 ; 135(3) : 1779-1824. <https://doi.org/10.32604/cmesci.2022.023092>.
3. Hazril M. Isa, Wan Nor Liza Mahadi, Rahizar Ramli, Mohd. Azman Zainul Abidin A review on electromagnetic suspension systems for passenger vehicle. International Conference on Electrical,

Control and Computer Engineering Pahang, Malaysia, June 21-22, 2011, pp. 399-403.

4. Mahaboob bashal U., Akhil kumar T., Balasubramanyam L. Design and Analysis of Regenerative System in Shock Absorber. J. of Advancement in Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 3, 2018. – 9 p.

5. Zhang Jin-qiu, Peng Zhi-zhao, Zhang Lei, Zhang Yu A Review on Energy-Regenerative Suspension Systems for Vehicles. Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol III, WCE 2013, July 3-5, 2013, London. – 4 p.

6. Патент № 2799872 C1 Российская Федерация, МПК F16F 15/03, B60G 13/14, H02K 41/02. рекуперативный амортизатор на основе линейного электродвигателя с постоянными магнитами : № 2023105791 : заявл. 13.03.2023 : опубл. 13.07.2023 / В. И. Посметьев, В. О. Никонов [и др.].

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024683232 РФ. Программа для моделирования движения лесовозного автопоезда с рекуперативными электромагнитными амортизаторами : № 2024682975 : заявл. 07.10.2024 : опубл. 11.10.2024 / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; заявитель ФГБОУ ВО «ВГЛУ им. Г. Ф. Морозова».

8. Посметьев, В. И. Теоретические обоснования новых технических решений, обеспечивающих повышение эксплуатационных свойств лесовозных автомобилей / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2024. – 275 с.

9. Посметьев, В. И. Оценка актуальности использования рекуперативной подвески с линейным электромагнитным генератором в конструкции лесовозного автомобиля / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. А. Зеликов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 2, № 2(40). – С. 50-63. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-50-63.

10. Посметьев, В. И. Анализ конструкций электромагнитных амортизаторов, рекуперирующих энергию в подвесках автомобилей / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. С. Сеницын // Проблемы эксплуатации и перспективы развития автомобильного транспорта : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 05-06 октября 2023 года / Отв. редактор В. О. Никонов. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 31-44. – DOI 10.58168/OPPRTD_31-44.

REFERENCES

1. Ganesh M. Fodase, Praeep R. Gaikwad Review of the potential of Regenerative Hybrid Suspension System as a future technology for suspension. Alochana Journal. Vol. 13, Issue 5, 2024, pp. 15-31.

2. Fu C, Lu J, Ge W, Tan C, Li B. A Review of Electromagnetic Energy Regenerative Suspension System & Key Technologies. Comput Model Eng Sci. 2023; 135(3) : 1779-1824. <https://doi.org/10.32604/cmesci.2022.023092>.

3. Hazril M. Isa, Wan Nor Liza Mahadi, Rahizar Ramli, Mohd. Azman Zainul Abidin A review on electromagnetic suspension systems for passenger vehicles. International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering Pahang, Malaysia, June 21-22, 2011, pp. 399-403.

4. Mahaboob bashal U., Akhil kumar T., Balasubramanyam L. Design and Analysis of Regenerative System in Shock Absorber. J. of Advancement in Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 3, 2018. – 9 p.

5. Zhang Jin-qiu, Peng Zhi-zhao, Zhang Lei, Zhang Yu A Review on Energy-Regenerative Suspension Systems for Vehicles. Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol III, WCE 2013, July 3-5, 2013, London. – 4 p.m.

6. Patent № 2799872 C1 Russian Federation, IPC F16F 15/03, B60G 13/14, H02K 41/02. Regenerative shock absorber based on a linear electric motor with permanent magnets: № 2023105791 : declared 13.03.2023 : published 13.07.2023 / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov [et al.].

7. Certificate of state registration of computer program № 2024683232 Russian Federation. Program for simulating the movement of a timber road train with regenerative electromagnetic shock absorbers : № 2024682975 : declared 07.10.2024 : published 11.10.2024 / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetyev ; applicant : FSBEI HE «VSTU named after G. F. Morozov».

8. Posmetyev, V. I. Theoretical justification for new technical solutions ensuring improved performance of logging vehicles / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetyev. – Voronezh :

Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2024. – 275 p.

9. Posmetev, V. I. Assessment of the relevance of using a regenerative suspension with a linear electromagnetic generator in the design of a logging truck / V. I. Posmetev, V. O. Nikonov, V. A. Zelikov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2022. – Vol. 2, № 2 (40). – P. 50-63. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-50-63.

10. Posmetyev, V. I. Analysis of the designs of electromagnetic shock absorbers that recuperate energy in vehicle suspensions / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, A. S. Sinitsyn // Problems of operation and prospects for the development of automobile transport : Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference, Voronezh, October 5-6, 2023 / Editor-in-chief V. O. Nikonov. – Voronezh : Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2023. – P. 31-44. – DOI 10.58168/OPPRTD_31-44.