

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДРЕССОРИВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ АМОРТИЗАТОРА С РЕКУПЕРАТИВНЫМ ЭФФЕКТОМ

**КЛИМОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ**, аспирант

E-mail: klimmanen@mail.ru

**КАРЕЛИНА МАРИЯ ЮРЬЕВНА**, докт. пед. наук, докт. техн. наук, профессор

E-mail: karelinamu@mail.ru

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет; Ленинградский пр., 64, Москва, 125319, Российская Федерация

Описана структура системы поддрессирования транспортного средства (ТС) с рекуперацией механической энергии колебаний поддрессированной массы в электрическую энергию. Система состоит из комплекта амортизаторов с рекуперативным эффектом, повышающих силовых преобразователей и блока управления подзарядом накопителя энергии в виде аккумуляторной батареи. В составе амортизатора имеется синхронная электрическая машина с возбуждением от постоянных магнитов и преобразующий механизм в виде шарико-винтовой передачи. Представлена математическая модель системы поддрессирования транспортного средства на основе амортизатора с рекуперативным эффектом. С помощью математической модели определена мощность, которую способна рекуперировать система поддрессирования транспортным средством при движении по дорогам неоднородного качества (асфальтовой и грунтовой) с различной скоростью. Установлено, что при движении грузового ТС со скоростью 40...50 км/ч по асфальтобетонной дороге средняя рекуперлируемая мощность системы составляет 0,011 кВт, а при движении по грунтовым дорогам – 0,206 кВт. При движении по ровной асфальтобетонной дороге эффективность ТС составляет 0,02...0,03% и сравнима с затратами энергии на функционирование системы управления. При движении ТС по грунтовой дороге средняя эффективность составила около 1% или 1,2621 кВт·ч/100 км. Отмечено, что разработанная математическая модель позволяет сократить совокупные затраты на исследовательские испытания конструкции амортизатора с рекуперативным эффектом.

**Ключевые слова:** амортизатор с рекуперативным эффектом, математическая модель, преобразователь, подзарядка, синхронный генератор с постоянными магнитами.

**Формат цитирования:** Климов А.В., Карелина М.Ю. Моделирование системы поддрессирования транспортного средства на основе амортизатора с рекуперативным эффектом // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N2(90). С. 8-14.

## SIMULATING A VEHICLE SUSPENSION SYSTEM BASED ON A SHOCK ABSORBER OF REGENERATIVE ACTION

**ALEKSANDR V. KLIMOV**, PhD student

E-mail: klimmanen@mail.ru

**MARIA YU. KARELINA**, Dr. Sc., professor

E-mail: karelinamu@mail.ru

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI); Leningradsky Ave., 64, Moscow, 125319, Russian Federation

The paper describes the structure of a vehicle suspension system with the recovery of the mechanical energy of sprung mass vibrations into electrical energy. The system consists of a set of shock absorbers with a recuperative action, power converters and a control unit for recharging the energy storage in the form of a battery. The shock absorber has a synchronous electric machine excited from permanent magnets and a converting mechanism in the form of a ballscrew. The authors present mathematical model of the vehicle suspension system based on a shock absorber of recuperative action. With the help of a mathematical model, it is possible to determine the power, which can be recuperated by the vehicle suspension system when driving on roads of variable quality (asphalt and dirt) at different speeds. It has been found that when a truck moves at a speed of 40...50 km/h along an asphalt concrete road, the average recoverable power of the system amounts to 0.011 kW, and when driving along dirt roads it is 0.206 kW. When driving on a flat asphalt road, the efficiency amounts to 0.02...0.03% and is comparable to the energy costs of the control system. When a truck was moving along a dirt road, the average efficiency was about 1% or 1.2621 kWh/100 km. The authors claim that the offered mathematical model allows to reduce the total research test cost of the shock absorber of regenerative action.

**Key words:** shock absorber of regenerative action, mathematical model, converter, recharging, permanent magnet synchronous machine.

**For citation:** Klimov A.V., Karelina M. Yu. Simulating a vehicle suspension system based on a shock absorber of regenerative action. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 2(90): 8-14. (In Rus.).

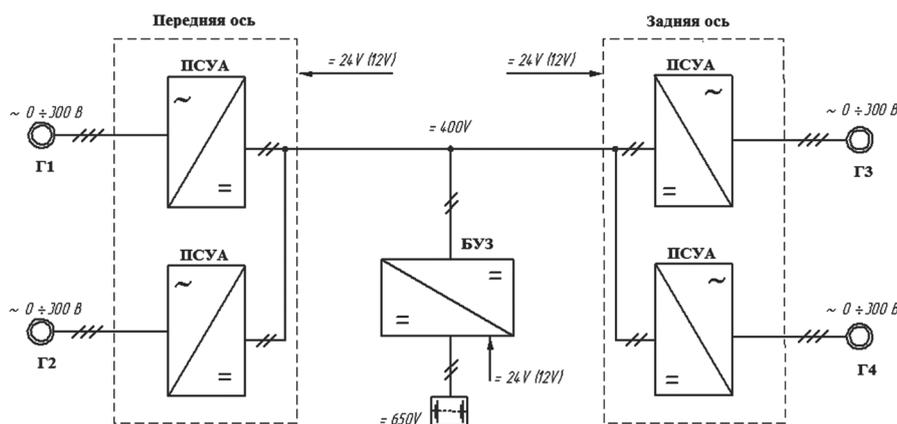
**Введение.** По различным оценкам, примерно до 30% энергии в транспортных средствах (ТС) с двигателями внутреннего сгорания расходуется на движение. Остальная энергия теряется в двигателе, трансмиссии, вспомогательных агрегатах и т.п. Одним из факторов, влияющим на энергоэффективность ТС, являются потери в демпфирующих элементах (ДЭ) при движении по неровностям опорного основания. Создание системы поддресоривания (СП), способной рекуперировать механическую энергию колебания поддресоренных масс ТС, которая в традиционной СП рассеивается в амортизаторах в виде тепла в окружающее пространство, дает возможность увеличить энергоэффективность не только ТС с двигателями внутреннего сгорания, но также гибридных ТС и электромобилей. Проблема повышения энергоэффективности особо остро стоит для грузовых ТС, используемых в сельском хозяйстве. В связи с этим целесообразно оценить функциональность и энергоэффективность различных конструкций амортизаторов

и их влияние на общий уровень эффективности ТС с помощью компьютерной математической модели.

**Цель исследования** – моделирование системы поддресоривания транспортного средства на основе амортизатора с рекуперативным эффектом.

**Материал и методы.** Система рекуперации энергии деформации подвески состоит, как правило, непосредственно из демпфирующих элементов, которые позволяют осуществлять рекуперацию энергии и системы электрических преобразователей (ПЭ), осуществляющих как управление работой демпфирующих элементов, так и рекуперацию энергии в накопитель (рис. 1).

В рассматриваемом случае амортизатор с рекуперативным эффектом (АРЭ) оснащен вращающейся синхронной электрической машиной с возбуждением от постоянных магнитов и механическим преобразователем поступательного движения штока во вращательное с помощью шариковинтовой передачи. Общий вид АРЭ представлен на рисунке 2.

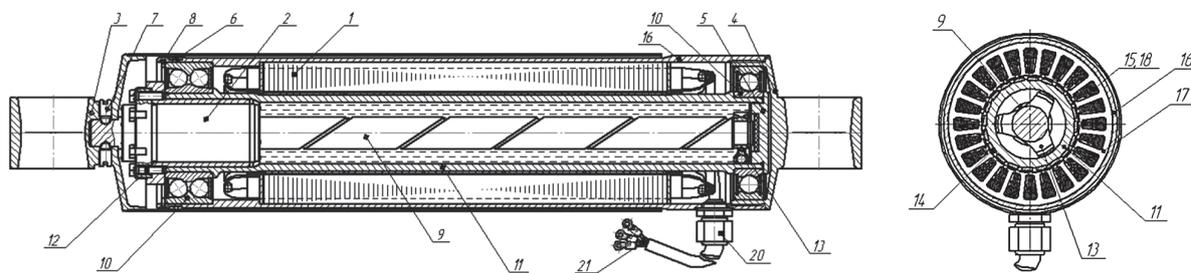


**Рис. 1. Схема системы поддресоривания с АРЭ:**

Г1...Г2 – АРЭ, ПСУА – повышающий силовой преобразователь; БУЗ – блок управления зарядом АКБ

**Fig. 1. Diagram of the suspension system with shock absorbers of a regenerative action (SARA):**

Г1...Г2 – SARA, SUPC – a step-up power converter; БУЗ – a battery charge control unit



**Рис. 2. Конструкция амортизатора с рекуперативным эффектом:**

1 – статор; 2 – гайка ШВП; 3, 4 – проушины; 5 – крышка; 6 – подшипник; 7 – крепежный элемент; 8 – труба; 9 – винт ШВП; 10 – подшипник; 11 – полый вал; 12 – крепежные элементы; 13 – шариковый распор; 14 – магниты; 15 – обмотки статора; 16 корпус статора; 17 – статорные пластины; 18 – пазы статора; 19 – отверстие для кабельного ввода; 20 – кабельный ввод; 21 – кабель

**Fig. 2. The design of the shock absorber of a regenerative action:**

1 – a stator; 2 – a ball screw nut; 3, 4 – eyelets; 5 – a cover; 6 – a bearing; 7 – a fastener; 8 – a pipe; 9 – a ball screw; 10 – a bearing; 11 – a hollow shaft; 12 – fasteners; 13 – a ball thrust; 14 – magnets; 15 – stator windings; 16 – a stator housing; 17 – stator plates; 18 – stator slots; 19 – a hole for cable entry; 20 – a cable entry; 21 – a cable

**Результаты и обсуждение.** Для оценки эффективности СП с АРЭ и определения энергии, которую система способна рекуперировать при движении двухосного колесного ТС полной массой 11,9 т и электроприводом, разработана модель MATLAB/Simulink SimScape (рис. 3).

Математическая модель включает в себя электрические машины – АРЭ, повышающие силовые преобразователи ПСУА, повышающий преобразователь для осуществления заряда тяговой высоковольтной батареи

БУЗ и модель аккумуляторной батареи Battery. Электрическая машина описана блоком Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) из библиотеки Simulink – Simscape Power System. Параметры блока, согласно произведенному расчету конструкции АРЭ, следующие: stator phase resistance 1.2 Ohm, armature inductance 5.65 mH, voltage constant 197.4 V, pole pairs 10. На рисунке 4 представлены блоки, составляющие математическую модель СП с АРЭ.

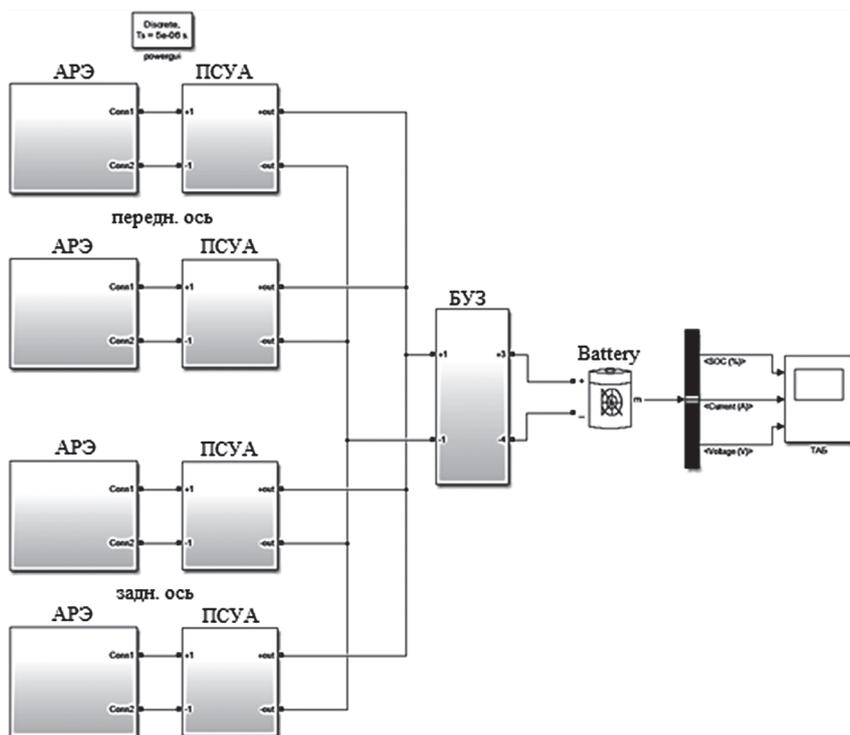


Рис. 3. Модель системы поддресоривания транспортного средства с рекуперацией энергии

Fig. 3. Model of a vehicle suspension system with power recuperation

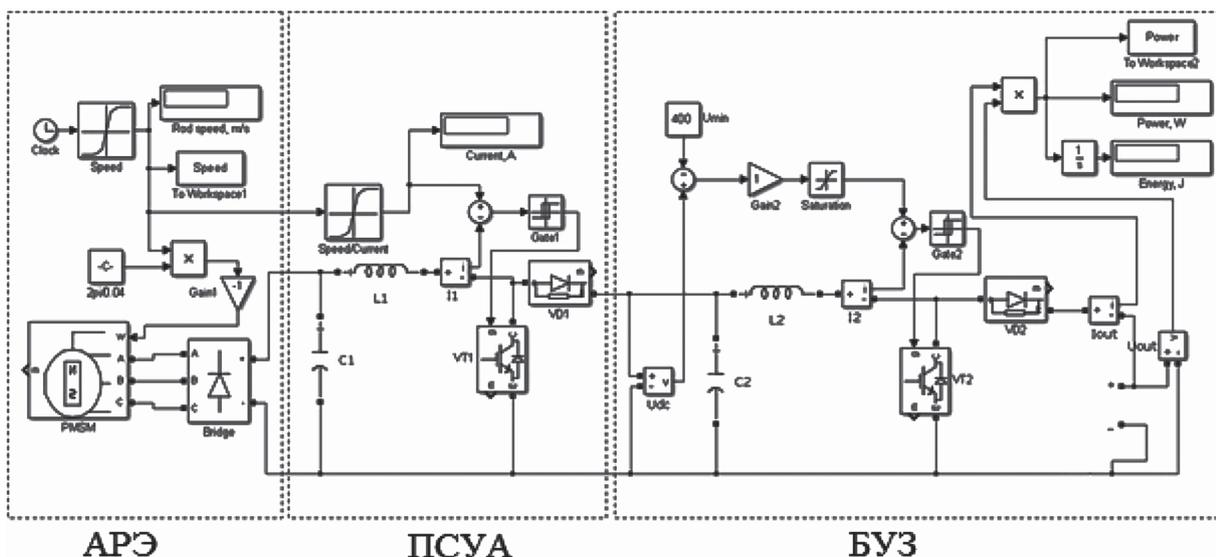


Рис. 4. Блоки математической модели СП

Fig. 4. Blocks of a mathematical model of a suspension system

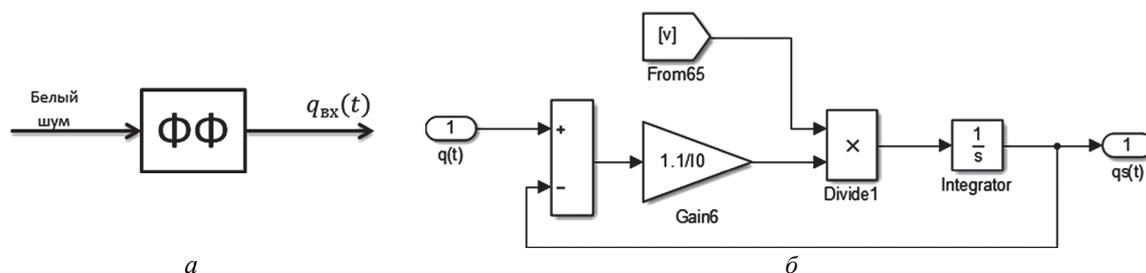
Кинематические возмущения (скорость перемещения колеса) могут быть учтены как временной зависимостью,

полученной при исследовательских испытаниях, так и при помощи генератора белого шума, создающего

случайный процесс зависимости высот неровностей дороги от времени движения и формирующего фильтра в виде спектральной плотности отклонений высот неровностей и фильтра, учитывающего сглаживающую способность шины (рис. 5).

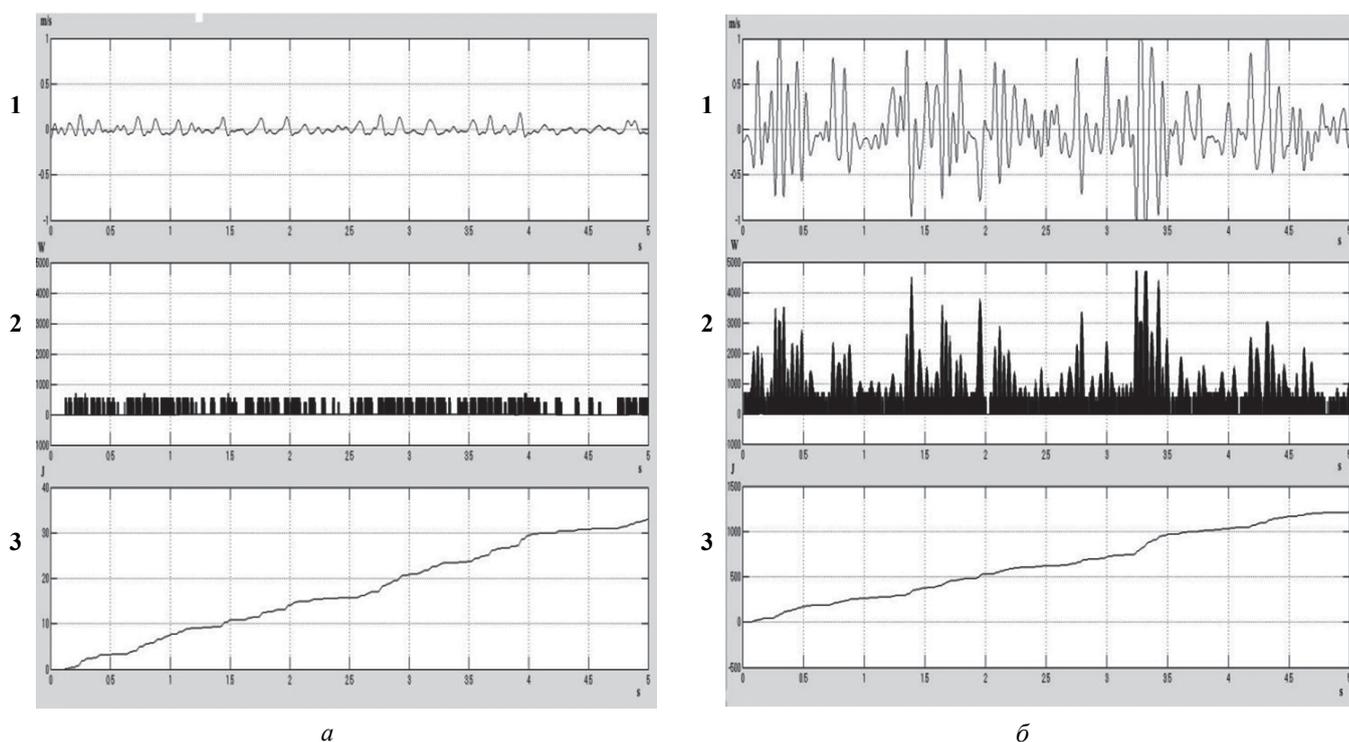
На рисунке 6 в качестве примера приведены результаты расчета двух пятисекундных фрагментов записей скоростей штока амортизатора при движении тягача без прицепа по асфальтированной дороге при 70 км/ч

и по булыжной дороге при 60 км/ч в модели MATLAB. На графиках представлены мгновенная рекуперированная мощность и суммарная рекуперированная энергия. Обращает на себя внимание факт, что рекуперированная энергия при движении по булыжной дороге в десятки раз превышает энергию, рекуперированную при движении по асфальту, т.е. качество дорожного полотна в значительной степени влияет на способность системы подвеса регенерировать энергию.



**Рис. 5. Задание кинематического возмущения:**  
а – формирующий фильтр, б – блок учета сглаживающей способности шин

**Fig. 5. Setting kinematic perturbations:**  
a – a forming filter, b – a registering unit of the smoothing ability of tires



**Рис. 6. Скорость штока АРЭ (1), мгновенная рекуперированная мощность (2) и суммарная рекуперированная энергия системы подвеса транспортного средства (3):**  
а – асфальтированная дорога, 70 км/ч; б – грунтовая дорога, 60 км/ч

**Fig. 6. The SARA absorber rod speed (1), instantaneous recuperated power (2), the total recuperated energy of the vehicle suspension system (3):**  
а – asphalt road, 70 km/h; б – dirt road, 60 km/h

В таблице 1 приведены результаты обработки моделирования движения грузового ТС и результаты исследовательских испытаний комплекта АРЭ. Заметим, моделировалось и исследовалось движение ТС по наиболее характерным дорогам, асфальтовой и грунтовой, при разных скоростях, на основании чего была определена

средняя мощность комплекта из четырех амортизаторов  $N_{cp}$ . При расчетах, как и при испытаниях ТС, моделировалось загруженность на 50%.

Средняя рекуперированная мощность системы, состоящей из комплекта АРЭ, силового преобразователя и зарядного устройства, составляет 0,011 кВт при движении

по асфальтобетонным дорогам и 0,206 кВт при движении по грунтовым дорогам. Данное значение соответствует движению грузового ТС со скоростями 40...50 км/ч. Указанный диапазон представляет среднетехнические скорости движения грузового ТС, эксплуатирующегося

в городской черте, ближнем пригороде, по проселочным дорогам и бездорожью. Определенные величины средней рекуперированной мощности можно использовать для качественной оценки эффективности применения АРЭ.

Таблица 1

**Значения средних генерируемых мощностей комплекта АРЭ**

Table 1

**Values of the average generated power of the SARA kit**

Средняя мощность комплекта	Тип поверхности					
	асфальтовая дорога			грунтовая дорога		
	Скорость, км/ч					
	30	50	70	30	45	60
Расчетное значение, Вт	0,0032	0,0140	0,0180	0,1090	0,3860	0,4890
Значение при испытаниях, Вт	0,0030	0,0130	0,0170	0,1000	0,2100	0,3100
Погрешность, %	6,25	7,14	5,88	8,25	7,21	5,48

Для анализа эффективности применения комплекта АРЭ необходимо определить количество удельной энергии, затрачиваемой на движение ТС на 1 км пути

с установленным комплектом АРЭ и без него, согласно стандартизованному циклу N1 по ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011. В таблице 2 приведены результаты данного расчета.

Таблица 2

**Результаты математического моделирования**

Table 2

**Mathematical modeling results**

Показатель	Режим движения (ГОСТ Р ЕН 1986-1)		
	без АРЭ	с АРЭ (грунт)	с АРЭ (асфальт)
Расход энергии, кВт·ч/км	1,2621	1,2618	1,2495

Эффективность при движении по ровной асфальтобетонной дороге составляет 0,02...0,03% и сравнима с затратами энергии на функционирование системы управления. При движении по грунтовой дороге средняя эффективность составляет около 1% или 1,2621 кВт·ч/100 км, что для технического средства с классической силовой установкой может составлять до 250...300 г/100 км (~0,22 л/100 км) топлива. При ухудшении условий движения ТС данная величина возрастает.

примерно 11,5 млн руб., что в среднем в 80...100 раз выше затрат на проведение виртуальных испытаний с применением разработанной математической модели. Прямой экономический эффект равен 11 млн руб. В случае увеличения количества исследуемых конструкций эффективность возрастает кратно количеству исследований, что снижает затраты на создание новых энергоэффективных систем и ТС.

**Выводы**

При движении ТС по асфальтобетонной дороге с малыми скоростями рекуперированная мощность мала и сравнима с мощностью, потребляемой электроникой системы управления и устройством заряда на собственные нужды. Движение по неровной дороге, даже при относительно малых скоростях, дает среднюю рекуперированную мощность порядка нескольких сотен ватт, а пиковую – до нескольких киловатт, что делает рекуперацию возможной и перспективной для колесных ТС, используемых в сельском хозяйстве.

Совокупные затраты на исследовательские испытания одного варианта конструкции АРЭ составляют

**Библиографический список**

1. Климов А.В., Малахов Д.Ю. Численное моделирование динамики поддрессоренной части быстроходной гусеничной машины // Теоретические и экспериментальные исследования многоцелевых гусеничных и колесных машин: Сборник научных трудов МАДИ, 2010. С. 104-110.
2. Климов А.В. Анализ энергетических характеристик систем поддрессирования колесных машин // Труды НАМИ. 2014. Вып. 257. С. 83-87.
3. Климов А.В., Карелина М.Ю. Выбор типа конструкции и определение параметров и характеристик амортизатора с рекуперативным эффектом // Труды НАМИ. 2017. № 3 (270). С. 74-81.
4. Маликов Р.Р., Смирнов А.А., Климов А.В. Оценка возможности рекуперации энергии колебаний в системе

поддресоривания двухосного грузового автомобиля // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2016. № 4 (30). С. 42-49.

5. Kireev A.V., Kozhemyaka N.M., Burdugov A.S., Nazarenko S.V., Klimov A.V., 2016. A Review on electromagnetic energy-regenerative shock absorbers. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11: 2551-2556. DOI: 10.3923/jesci.2016.2551.2556.

6. Kireev A.V., Kozhemyaka N.M., Burdugov A.S., Nazarenko S.V. and Klimov A.V. Test Bench Trials of the Electromagnetic Regenerative Shock Absorber. *International Journal of Applied Engineering Research*. ISSN0973-4562. Volume 12, Number 17 (2017). pp. 6354-6359.

7. Kireev A.V., Kozhemyaka N.M., Burdugov A.S., Nazarenko S.V. and Klimov A.V. Regenerative Shock Absorber in the Vehicle Suspension System. *International Journal of Applied Engineering Research*. ISSN0973-4562. Volume 12, Number 22 (2017). pp. 12390-12394.

8. Тарасов Е.А. Исследование эффективности рекуперативных элементов ходовой части трактора с помощью имитационной динамической модели // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2009. № 2. С. 62-67.

9. Тарасов Е.А. Сравнительная оценка эффективности применения рекуперативных систем на лесохозяйственном агрегате // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 5 (56). С. 131-134.

10. Тарасов Е.А. Совершенствование параметров ходовой части, навесного механизма и предохранителя, обеспечивающих топливную экономичность лесохозяйственных агрегатов: Дисс. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2007. 175 с.

11. Котиев Г.О., Горелов В.А., Бекетов А.А. Математическая модель движения вездеходного транспортного средства // Журнал автомобильных инженеров. 2008. № 1(48). С. 50-54.

12. Маликов Р.Р., Климов А.В., Биксалеев Р.Ш. Математическая модель автомобиля с расширителем пробега // Проблемы мехатроники современных машин: Материалы VII Международной конференции. 2018. Т. 2. С. 152-156.

13. Гайдар С.М. Планирование и анализ эксперимента. М.: Росинформагротех, 2015. 548 с.

14. ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011 Автомобили с электрической тягой. Измерение энергетических характеристик. Ч. 1. Электромобили. М.: Стандартиформ, 2012. 24 с.

## References

1. Klimov A.V., Malakhov D.Yu. Chislennoye modelirovaniye dinamiki podressorennoy chasti bystrokhodnoy gusenichnoy mashiny [Numerical modeling of the dynamics of the sprung part of a high-speed tracked vehicle]. *Teoreticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya mnogotselevykh gusenichnykh i kolesnykh mashin: Sbornik nauchnykh trudov MADI*. 2010: 104-110. (In Rus.)

2. Klimov A.V. Analiz energeticheskikh kharakteristik sistem podressorivaniya kolesnykh mashin [Analysis of the energy characteristics of the suspension systems of wheeled vehicles]. *Trudy NAMI*, 2014; 257: 83-87. (In Rus.)

3. Klimov A.V., Karelina M.Yu. Vybor tipa konstruksii i opredeleniye parametrov i kharakteristik amortizatora s rekupe-rativnym effektom [Choosing the design type and determining

the parameters and characteristics of a regenerative shock absorber]. *Trudy NAMI*, 2017; 3 (270): 74-81. (In Rus.)

4. Malikov R.R., Smirnov A.A., Klimov A.V. Otsenka vozmozhnosti rekuperatsii energii kolebaniy v sisteme podressorivaniya dvukhosnogo gruzovogo avtomobilya [Evaluating a possibility of recovering the energy of oscillations in the suspension system of a two-axle truck]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI*, 2016; 4 (30): 42-49. (In Rus.)

5. Kireev A.V., Kozhemyaka N.M., Burdugov A.S., Nazarenko S.V., Klimov A.V., 2016. Review on electromagnetic energy-regenerative shock absorbers. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11: 2551-2556. DOI: 10.3923/jesci.2016.2551.2556. (In English)

6. Kireev A.V., Kozhemyaka N.M., Burdugov A.S., Nazarenko S.V. and Klimov A.V. Test Bench Trials of the Electromagnetic Regenerative Shock Absorber. *International Journal of Applied Engineering Research*. ISSN0973-4562. Vol. 12, N17 (2017): 6354-6359. (In English)

7. Kireev A.V., Kozhemyaka N.M., Burdugov A.S., Nazarenko S.V. and Klimov A.V. Regenerative Shock Absorber in the Vehicle Suspension System. *International Journal of Applied Engineering Research*. ISSN0973-4562. Vol. 12, N22 (2017): 12390-12394. (In English)

8. Tarasov Ye.A. Issledovaniye effektivnosti rekupe-rativnykh elementov khodovoy chasti traktora s pomoshch'yu imitatsionnoy dinamicheskoy modeli [Study of the efficiency of recuperative elements of a tractor's running gear using a dynamic simulation model]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2009; 2: 62-67. (In Rus.)

9. Tarasov Ye.A. Sravnitel'naya otsenka effektivnosti primeneniya rekupe-rativnykh sistem na lesokhozyaystvennom aggregate [Comparative effectiveness evaluation of the use of recuperative systems on a forestry machine unit]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011; 5 (56): 131-134. (In Rus.)

10. Tarasov Ye.A. Sovershenstvovaniye parametrov khodovoy chasti, navesnogo mekhanizma i predokhranitelya, obespechivayushchikh toplivnyuyu ekonomichnost' lesokhozyaystvennykh agregatov: Diss. ... kand. tekhn. nauk [Improving the parameters of the chassis, attachment mechanism and safety appliance ensuring the fuel efficiency of forestry machine units: PhD (Eng) thesis]. Voronezh, 2007: 175. (In Rus.)

11. Kotiyev G.O., Gorelov V.A., Beketov A.A. Matematicheskaya model' dvizheniya vezdekhnodnogo transportnogo sredstva [Mathematical model of the movement of an all-terrain vehicle]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2008; 1(48): 50-54. (In Rus.)

12. Malikov R.R., Klimov A.V., Biksaleyev R.Sh. Matematicheskaya model' avtomobilya s rasshiritelem probega [Mathematical model of a vehicle with a range expander]. *Problemy mekhatroniki sovremennykh mashin: Materialy VII Mezhdunarodnoy konferentsii*, 2018; 2: 152-156. (In Rus.)

13. Gaydar S.M. Planirovaniye i analiz eksperimenta [Experiment planning and analyzing]. Moscow, Rosinformagrotekh, 2015: 548. (In Rus.)

14. GOSTR EN1986-1-2011 Avtomobili s elektricheskoy tyagoy. Izmereniye energeticheskikh kharakteristik Ch.1. Elektromobili [Vehicles with electric propulsion. Measurement of energy characteristics. Part 1. Electric vehicles]. Moscow, Standartinform, 2012: 24. (In Rus.)

**Критерии авторства**

Климов А.В., Карелина М.Ю. провели обобщение и написали рукопись. Климов А.В., Карелина М.Ю. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 10.01.2019

**Contribution**

Klimov A.V., Karelina M.Yu. summarized the material and wrote the manuscript. Klimov A.V., Karelina M.Yu. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on January 10, 2019

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 631.31 (470.44/47)

## СНИЖЕНИЕ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ЗА СЧЕТ МИНИМАЛИЗАЦИИ ЕГО КОЛЕБАНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ

**ЦЕПЛЯЕВ АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: can\_volgau@mail.ru

**КОСУЛЬНИКОВ РОМАН АНАТОЛЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: itf-kosulnikov@yandex.ru

**ЦЕПЛЯЕВ ВИТАЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: Cepliaeva@mail.ru

**МАТАСОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ**, канд. техн. наук, ассистент

E-mail: matasov9@mail.ru

**ПОЛТОРЫНКИН СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ**, канд. техн. наук, ассистент

E-mail: dedakam@mail.ru

Волгоградский государственный аграрный университет; Университетский пр., 26, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация

Представлены результаты исследований, направленных на снижение энергетических затрат при обработке тяжелых почв за счет уменьшения колебаний тягового сопротивления, которые возникают при работе машинно-тракторного агрегата. Указаны возможные способы снижения колебаний крюковой нагрузки трактора от действия сельскохозяйственной машины, которые неизбежно приводят к повышению общего тягового сопротивления и вызывают необоснованные отрицательные воздействия на энергетические средства, механизаторов, управляющих ими, существенно снижают КПД агрегатов. К способам снижения колебаний нагрузки можно отнести применение упругих звеньев, предусмотренных в конструкции навески тракторов, использование упруго-демпфирующих систем в конструкции самих рабочих органов, а также разработку машин с роторными рабочими органами, технологический процесс которых не вызывает больших колебаний нагрузки. Наиболее эффективным способом является применение машин с роторными рабочими органами. Получены и приведены математические выражения для нахождения общего сопротивления, возникающего при работе автоприводного секционного рабочего органа для вычесывания сорняков с рыхлением почвы. По результатам исследований представлена совершенная конструкция секционного рабочего органа, способного проводить уничтожение сорных растений методом их вычесывания вместе с корнем и одновременным рыхлением поверхностного слоя тяжелосуглинистых почв на глубину 2...10 см. Установлено, что секционный рабочий орган имеет низкую амплитуду колебаний при работе (0,12 кН) за счет вращения роторов, что положительно сказывается на технологическом процессе и условиях труда механизатора, позволяет снизить энергозатраты на возделывание культурных растений в 1,8...2,0 раза по сравнению с плоскорежущими лапами.

**Ключевые слова:** обработка почвы, ротор, тяговое сопротивление, колебание сопротивления, снижение энергозатрат, машинно-тракторный агрегат, упругий элемент, навеска трактора, плоскорежущая лапа.

**Формат цитирования:** Цепляев А.Н., Косульников Р.А., Цепляев В.А., Матасов А.Н., Полторынкин С.С. О создании и использовании сельскохозяйственной техники для обработки тяжелых почв Нижнего Поволжья // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N2(90). С. 14-19.