

УДК 62-593
DOI: 10.17816/0321-4443-100839

Оригинальное исследование



Снижение токсичности выхлопных газов автомобиля за счет рекуперации энергии торможения

О.И. Поливаев, А.Н. Ларионов, Д.Б. Болотов

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Введение. В последние годы в Российской Федерации наблюдается значительный прирост автомобильного транспорта, что приводит к существенному увеличению выбросов токсичных газов в атмосферу. Доля выбросов токсичных газов автотранспорта колеблется от 65 до 70%. Для снижения выбросов токсичных газов в атмосферу внедряются электромобили, однако они имеют целый ряд недостатков: ограниченный пробег до подзарядки аккумулятора и дорогостоящие аккумуляторы. Также ускоренно ведутся работы по использованию водорода в качестве топлива для автомобилей. Однако вопросы хранения водородного топлива пока еще не проработаны. При этом существующий парк автомобилей продолжает отравлять атмосферу.

Цель – исследование рекуператора энергии торможения для снижения оксида углерода CO в отработавших газах автомобиля УАЗ.

Материал и методы. Разработана конструкция комбинированной установки с газогидравлическим рекуператором торможения, которая использована на автомобиле УАЗ (пат. РФ № 2193977). Сравнительные исследования проведены согласно ГОСТ 33670-2015 и ГОСТ 52033-2003.

Результаты и обсуждение. Результаты сравнительных исследований автомобиля показали, что на повышенной передаче при скорости движения 18–25 м/с – минимум выбросов CO, а на низших передачах он значительно возрастает. Рекуператор этот недостаток устраняет за счет дополнительной передачи мощности на ведущие колеса.

Заключение. При разгоне автомобиля в городском цикле с рекуператором наблюдается минимум выбросов CO, при этом возрастает ускорение автомобиля, что уменьшает время разгона и путь на 30–35%. Автомобиль с рекуператором в среднем расходовал бензина до 15 л/100 км, а в серийном исполнении этот показатель составлял до 17,5 л/100 км пути. За счет рекуператора выбросы CO снижаются на 16%.

Ключевые слова: комбинированная установка; рекуператор торможения; выбросы CO; экономия топлива; токсичность

Для цитирования:

Поливаев О.И., Ларионов А.Н., Болотов Д.Б. Снижение токсичности выхлопных газов автомобиля за счет рекуперации энергии торможения // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 1. С. 15–21. DOI: 10.17816/0321-4443-100839

DOI: 10.17816/0321-4443-100839

Original study

Reduction of vehicle exhaust gas toxicity due to brake energy recovery

Oleg I. Polivaev, Alexey N. Larionov, Dmitry B. Bolotov

Peter the Great Voronezh State Agrarian University, Voronezh, Russia

BACKGROUND: In recent years, fleet of vehicles in the Russian Federation is on a significant increase, that leads to considerably amplified emissions of toxic gases into the atmosphere. The share of toxic gas emissions from motor vehicles ranges from 65 to 70%. In order to reduce the toxic gas emissions into the atmosphere, electric vehicles have been introduced, but they have a number of disadvantages. These are a limited mileage before recharging and expensive batteries. Also, works on the use of hydrogen as a fuel for cars are conducted at an accelerated pace. However, the issue of a hydrogen fuel storage has not yet been worked out. At the same time, the used fleet of vehicles continues to poison the atmosphere.

AIMS: Studying the braking energy recuperator for decreasing carbonic oxide CO in exhaust gases of the UAZ car.

METHODS: The construction of a combined unit with a gas-hydraulic braking recuperator was developed, which is installed on a UAZ vehicle (RF Pat. No. 2193977). Comparative studies were carried out in accordance with GOST 33670-2015 and GOST 52033-2003.

RESULTS: Results of comparative studies of the car showed that a minimum of CO emissions is observed in high gear, at a speed of 18–25 m/s, and CO emissions significantly increase in lower gears. The recuperator eliminates this drawback due to the additional power transmission to the driving wheels.

CONCLUSION. When a car starts in the urban cycle, there is a minimum of CO emissions with a recuperator, at the same time the car acceleration increases, that reduces the acceleration time and the distance by 30–35%. A car with a recuperator on average consumed gasoline up to 15 l per 100 km, and this parameter of the production car was up to 17,5 l per 100 km of track. Due to the recuperator, CO emissions are reduced by 16%.

Keywords: combined installation; brake recuperator; CO emissions; fuel economy; toxicity

To cite this article:

Polivaev OI, Larionov AN, Bolotov DB. Reduction of vehicle exhaust gas toxicity due to brake energy recovery. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(1):15–21. DOI: 10.17816/0321-4443-100839

Received: 16.02.2022

Accepted: 26.02.2022

Published: 15.03.2022

ВВЕДЕНИЕ

В последние 10 лет наблюдается значительный рост автомобильного парка, что приводит к выбросам значительного количества токсичных газов в атмосферу. Доля выбросов токсичных газов автотранспорта колеблется от 65 до 70% [1, 2].

Для снижения воздействия токсичных газов автотранспорта ведутся работы по внедрению электромобилей, однако они имеют целый ряд недостатков: ограниченный диапазон пробега, непродолжительный срок работы аккумуляторных элементов, большая их стоимость и отсутствие специальных станций для их зарядки. Применение водорода в качестве топлива в настоящее время является наиболее перспективным направлением. Однако хранение и использование водорода в качестве топлива пока еще не отработано для автотранспорта. В ближайшие 5 лет эта задача будет решена. В настоящее время разрабатываются и внедряются комбинированные установки с рекуператорами энергии на существующем автотранспорте. Но, к сожалению, автомобили, которые в основном используются на данный момент, продолжают отравлять окружающую среду токсичными выхлопными газами.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование рекуператора энергии торможения для снижения оксида углерода CO в отработавших газах автомобиля УАЗ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование автомобиля УАЗ-3303 с рекуператором торможения проведено согласно ГОСТ 33670-2015 «Автомобильные транспортные средства единичные. Методы экспертизы и испытаний для проведения оценки соответствия» и ГОСТ 52033-2003 «Автомобили

с бензиновым двигателем. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами».

По оценкам многих исследователей, в выхлопных газах находится от 250 до 1100 химических соединений. Наиболее токсичными для человека являются: CO – оксид углерода, NO – оксид азота, NO₂ – диоксид азота, C_xH_y – различные углеводороды, CO₂ – углекислый газ и целый ряд других соединений.

В работе нами будет рассмотрено количество оксида углерода (CO) в выхлопных газах автомобиля УАЗ с рекуператором энергии. Оксид углерода приводит к смертельному исходу при дозе свыше 1%.

Для снижения загрязняющих веществ в существующем автотранспортном парке наибольшее распространение получили использование комбинированных установок (КУ). Комбинированная установка с рекуператором энергии состоит из двигателя, рекуператора, бесступенчатой передачи, переключателя передач и колес транспортного средства.

Работа автомобилей с комбинированными рекуператорами энергии происходит в зависимости от торможения или колебаний остова автомобиля. Затем эта энергия запасается рекуператором и отдается при разгоне транспортного средства [3–6].

В таблице 1 приведены различные типы комбинированных установок.

Анализ различных комбинированных установок показал, что наиболее эффективными являются установки с газогидравлическими аккумуляторами, так как аккумуляторы с маховиком имеют большие габариты и повышенную массу и они практически не применяются.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для выявления влияния нагрузки двигателя на содержание оксида углерода (CO), диоксида азота (NO₂) и расход топлива ($q_{тв}$) были проведены специальные исследования. Двигателю автомобиля УАЗ создавали

Таблица 1. Типы комбинированных установок автотранспорта
Table 1. Types of combined unit vehicle

Автомобиль ¹	Масса ² , кг	Мощность ДВС ³	Тип аккумулятора ⁴	Тип трансмиссии накопителя ⁵
Электробус <i>Daimler Benz OE 305</i>	18 800	74 кВт, ЭД-150 кВт	Электрический, масса – 300 кг, емкость – 230 А*ч	Электрическая
<i>Daihatsu</i>	3350	63 кВт, ЭД-33 кВт	Электрический, масса – 42 кг, емкость – 135 А*ч	Электрическая
Гиробус <i>MAN</i>	16 000	100 кВт	Маховик, масса – 105кг, энергоемкость – 1,5 кВт*ч, 12 000 об/мин	Гидромеханическая
Гидробус <i>MAN</i>	16 000	100 кВт	Газогидравлический, масса – 450 кг, энергоемкость – 0,33 кВт*ч	Гидромеханическая

Notes: 1 – vehicle; 2 – mass; 3 – combustion engine power; 4 – type of a battery; 5 – type of battery transmission

различную нагрузку на тормозном стенде с замером исследуемых параметров CO, NO₂ и q_{тв}, рис. 1. Вышеуказанные параметры определяли с помощью анализатора отработавших газов «Инфралайт-МК».

Анализ рис. 1 показывает, что при мощности двигателя 25–45 кВт количество оксида углерода (CO) находится в пределах 1–2%, а при увеличении мощности с 45 до 50 кВт за счет дополнительной подачи топлива значительно возрастает CO. По этой причине включение рекуператора позволит устранить недостаток существующих двигателей.

Нами разработана простая конструкция комбинированной установки с рекуператором торможения (пат. РФ № 2193977) [7]. Данные конструкции были изготовлены на базе автомобиля УАЗ на Воронежском

механическом заводе и прошли опытное внедрение на санитарных автомобилях, работающих в городском цикле движения.

Рекуператор автомобиля УАЗ-3303 показан на рис. 2.

Принцип работы рекуператора. При включении педали торможения 14 срабатывает электромагнит 5, который соединяет двигатель 8 и гидронасос (мотор) 4. При этом рабочая жидкость поступает из бака 1 в делитель потока 10 и далее в аккумулятор 3, где происходит его зарядка.

В режиме разгона (в завершающей его стадии необходим дополнительный запас энергии) включают на 2/3 хода акселератор 13, который открывает в делителе потока 10 канал для прохода рабочей жидкости из аккумулятора 3 к гидронасосу 4, который в данном случае будет работать как гидромотор. В результате чего раздаточный механизм 6 получает дополнительно вращательный момент на ведущие колеса 9.

Результаты сравнительных исследований автомобиля УАЗ показали, что на повышенной IV передаче при скорости движения 18–25 м/с минимум выбросов CO, а на низших передачах он значительно возрастает, рис. 3. При разгоне автомобиля с рекуператором также наблюдается минимум выбросов CO при скорости движения 18–25 м/с. Однако за счет рекуператора энергии происходит снижение оксида углерода на 16%, рис. 3. Кроме того, за счет дополнительной подачи мощности рекуператором на ведущие колеса возрастает ускорение автомобиля, а следовательно, уменьшается время разгона на 30–35%.

На рис. 4 и 5 приведены результаты исследований автомобиля в городском цикле движения (ГЦД).

При движении в городском цикле (4 км) расход топлива, соответственно, снижается на 0,1 литра, а оксид углерода – на 31 г (рис. 4 и 5).

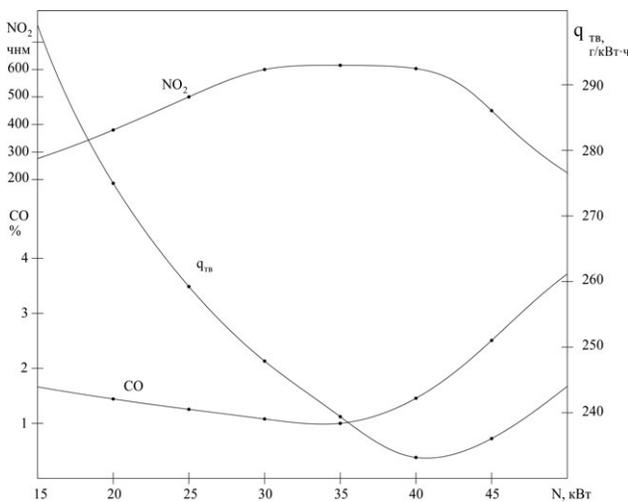


Рис. 1. Зависимость токсичности отработавших газов от нагрузки двигателя.

Fig. 1. Dependence of exhaust gases toxicity on engine load.

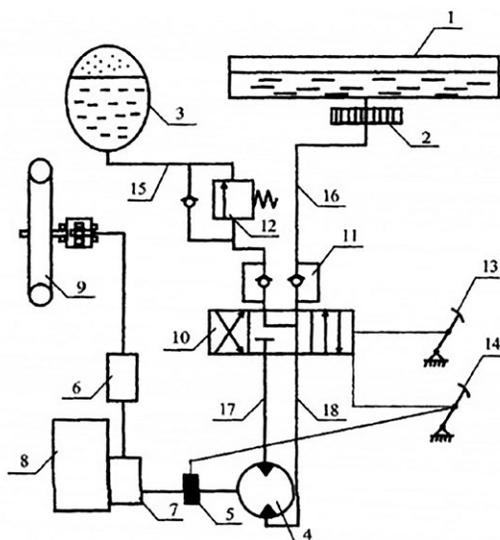


Рис. 2. Рекуператор автомобиля УАЗ.

Fig. 2. UAZ car recuperator.

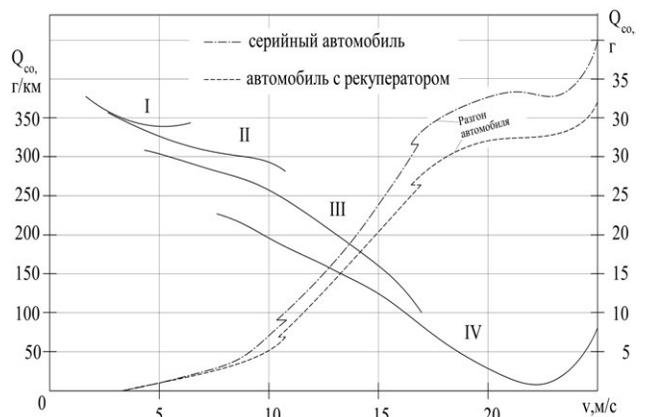


Рис. 3. Зависимость изменения оксида углерода (CO) при движении от номера включенной передачи и при разгоне автомобиля.

Fig. 3. Dependence of the change in carbon monoxide (CO) on the number of the gear switched on when moving and when accelerating the car.

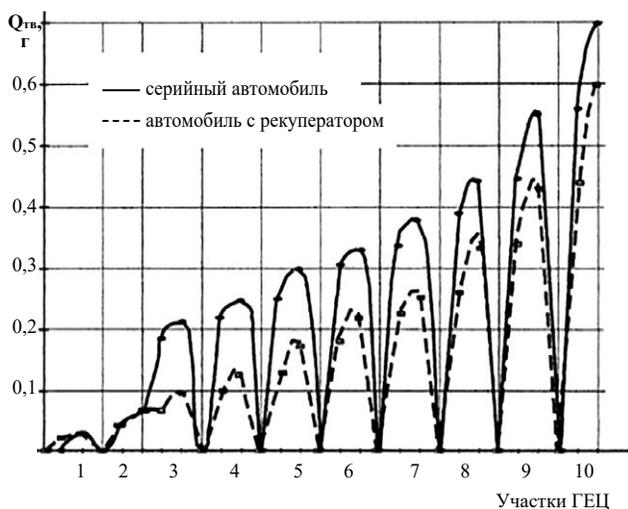


Рис. 4. Зависимость изменения расхода топлива в ГЦД.

Fig. 4. Dependence of the change in fuel consumption in the urban traffic cycle (UTC).

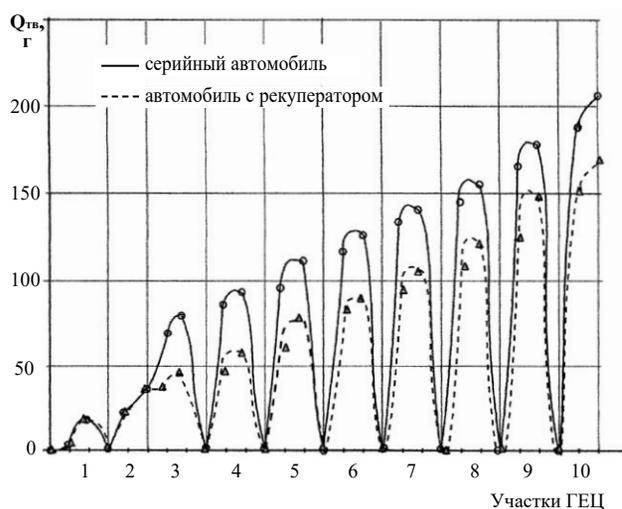


Рис. 5. Зависимость изменения оксида углерода в ГЦД.

Fig. 5. Dependence of carbon monoxide change in the urban traffic cycle (UTC).

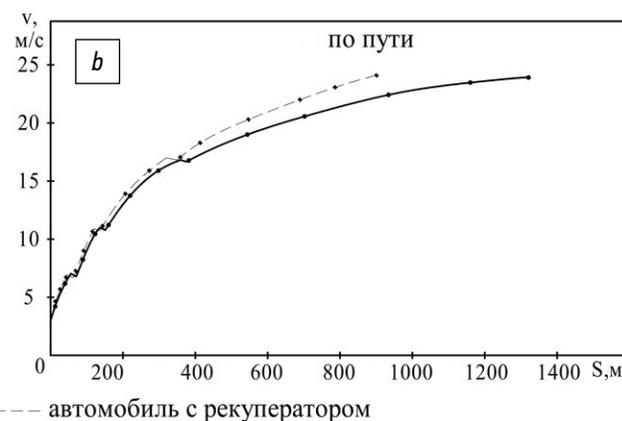
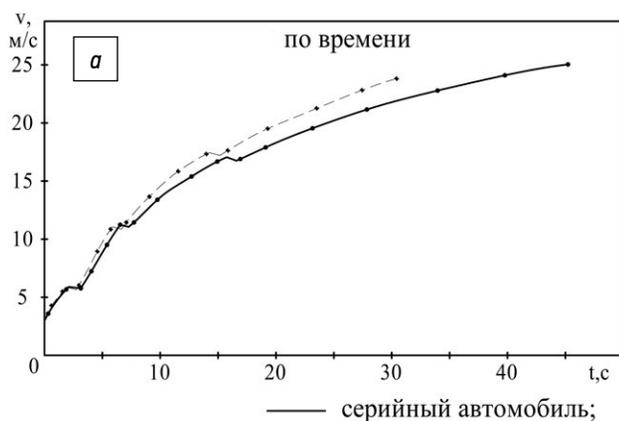


Рис. 6. Характеристика разгона автомобиля УАЗ по времени (а) и по пути (b).

Fig. 6. UAZ time (a) and distance (b) acceleration characteristics.

Таблица 2. Сравнительные характеристики серийного автомобиля УАЗ-3303 и с комбинированной установкой.

Table 2. Comparative parameters of the UAZ-3303 production vehicle and UAZ-3303 with a combined unit.

Автомобили ¹	Расход топлива ²	Выбросы CO ³	На 100 км пути ⁴	
	Gt, л	G _{CO} , гр	G, л/100 км	G _{CO} , г/100 км
УАЗ-3303	0,70	202,0	17,5	5050
УАЗ-3303 с комбинированной установкой	0,60	171,0	15	4275

Notes: 1 – vehicle; 2 – fuel consumption; 3 – CO₂ emissions; 4 – fuel consumption per 100 kilometers

На рис. 6 представлена сравнительная характеристика разгона серийного и опытного автомобилей УАЗ-3303 (с полной нагрузкой). Скоростные свойства автомобиля с рекуператором энергии торможения при разгоне до скорости 25 м/с сокращаются на 30–35%.

Рекуперация энергии торможения на 15% снижает расход бензина и, соответственно, оксида уг-

лерода на 16%, в городском цикле движения. В пересчете на 100 км пути автомобиль с рекуператором в среднем расходовал бензина до 15 л/100 км, а в серийном исполнении этот показатель составил до 17,5 л/100 км пути (таблица 2). Экономия топлива в данном случае достигается за счет сокращения времени работы базового двигателя на неэффективных

режимах разгона. В связи с этим в перспективе возможна замена двигателя внутреннего сгорания на менее мощный с сохранением динамических характеристик автомобиля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований рекуператора на базе автомобиля УАЗ-3303 в городском цикле движения показали, что за счет повышения ускорения уменьшаются путь и время разгона до 30–35%. Автомобиль с рекуператором в среднем расходовал бензин до 15 л/100 км, а в серийном исполнении – до 17,5 л/100 км пути. За счет рекуператора снижены на 16% выбросы CO.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. *О.И. Поливаев* – был инициатором данного исследования, отвечал за проведение патентного анализа, разработку и изготовление объекта исследований, проводил исследование, а также написал текст рукописи; *А.Н. Ларионов* – занимался редактированием текста рукописи и обработкой результатов исследований; *Д.Б. Болотов* – осуществлял поиск публикаций по теме статьи и участвовал в проведении исследования. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства

международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии всех видов источников финансирования при проведении исследования. Исследования проведены на собственные средства авторов.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. *O.I. Polivaev* initiated the present research, analysed the registered patents, developed and made a research object, carried out the research, wrote the manuscript. *A.N. Larionov* processed the research data, edited the manuscript. *D.B. Bolotov* contributed to analysis of research topic publications, carried out the research. All authors certify that they meet the *ICMJE* international criteria for authorship.

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. Authors state that this research was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов Л.А., Корнев Е.В. Автомобильный транспорт и охрана окружающей среды. Ташкент: Мехнат, 2012.
2. Сердюкова А.Ф., Барабанчиков Д.А. Влияние автотранспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2018. № 25. С. 31–33.
3. Курилкин В.В., Ромашко А.М. Общая основа изделий с рекуперацией энергии // Механизация строительства. 2013. № 6. С. 31–37.
4. Чмил В.П. Рекуперация энергии в гидромеханизме поворота платформы экскаватора // Механизация строительства. 2017. Т. 78, № 2. С. 7–10.
5. Ивлев В.И., Мисюрин С.Ю. Автономные пневматические привода для легких транспортных средств // Проб-

1. лемы машиностроения и автоматизации. 2012. № 2. С. 32–34.
2. 6. Посметьев В.И., Никонов В.О. Повышение эффективности гидропривода многофункционального автомобиля для ухода за полезащитными лесными полосами // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 4. С. 140–149.
3. 7. Патент РФ на изобретение №2193977/ 10.12.2002. Бюл. № 11. Поливаев О.И., Полухин А.П., Мягков Д.Ю., Сухоруков П.В. Устройство для рекуперации энергии транспортного средства. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37722330>. Дата обращения: 07.04.2022.

REFERENCES

1. Akhmetov LA, Kornev EV. *Avtomobil'nyi transport i okhrana okruzhayushchei sredy*. Tashkent: Mehnat; 2012. (In Russ).
2. Serdyukova AF, Barabanshchikov DA. Vliyanie avtotransporta na okruzhayushchuyu sredy. *Molodoi uchenyi*. 2018;(25):31–33. (In Russ).
3. Kurilkin VV, Romashko AM. General basis of machines with power recuperation // *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2013;(6):31–37. (In Russ).
4. Chmil VP. Energy recovery in gidromehanizme turning excavator platform. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2017;78(2):7–10. (In Russ).
5. Ivlev VI, Misyurin SY. Autonomous pneumatic drives in light vehicles. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2012;(2):33–35. (In Russ).
6. Posmetyev VI, Nikonov VO. Increasing the efficiency of hydraulic drive of the multifunctional vehicle designated for field-protective forest belt servicing. *Vestnik of*

the Voronezh State Agrarian University. 2017;(4):140–149. (In Russ).

7. Patent RUS №2193977/ 10.12.2002. Byul. №11. Polivaev OI, Polukhin AP, Myagkov DY, Sukhorukov PV. Device

for regeneration of kinematic energy of moving vehicle. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37722330>. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

Поливаев Олег Иванович,

д.т.н., профессор

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3610-6339>

eLibrary SPIN: 1423-0193

E-mail: Polivaevoi@icloud.com

Ларионов Алексей Николаевич,

д-р физ.-мат. наук, профессор

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3656-3812>

eLibrary SPIN: 3950-7191

E-mail: larionovan@yandex.ru

***Болотов Дмитрий Борисович,**

магистр

адрес: Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3925-1419>

E-mail: BDB1998@ya.ru

* Автор, ответственный за переписку

AUTHORS INFO

Oleg I. Polivaev

Doctor of Engineering Sciences, Professor

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3610-6339>

eLibrary SPIN: 1423-0193

e-mail: Polivaevoi@icloud.com

Alexey N. Larionov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3656-3812>

eLibrary SPIN: 3950-7191

e-mail: larionovan@yandex.ru

***Dmitry B. Bolotov,**

Master's Degree

address: Mitchurina street, 1, Voronezh, 394087, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3925-1419>

e-mail: BDB1998@ya.ru

* Corresponding author