

УДК 621.333.41

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

### К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО РЕКУПЕРАТИВНОГО ПРИВОДА ТС

Полуэктв Александр Александрович  
ассистент  
[aleksandr.poluektov2000@yandex.ru](mailto:aleksandr.poluektov2000@yandex.ru)

Самурганов Евгений Ерманекосович  
Доцент  
[samurganov@mail.ru](mailto:samurganov@mail.ru)

Сарксян Мовсес Дмитриевич  
студент  
[movses.sarksyan.03@mail.ru](mailto:movses.sarksyan.03@mail.ru)  
*ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, Краснодар, Россия*

Рекуперативный привод транспортного средства – это сложная, как правило электрическая, система, направленная на восстановление части затраченной энергии, посредством электро-мотор замедлителя. В условиях ограниченности мировых запасов жидких ископаемых топлив, разработка новых источников получения энергии являются ключевой задачей. Об одном из таких источников речь и пойдет в данной научной статье. Рекуперация энергии направлена на восстановления части затраченной энергии различными способами. В автомобильном транспорте процесс рекуперация происходит в тормозной системе автомобиля, когда последний совершает работу тормозной системой. Система рекуперации кинетической энергии, позволяет преобразовать часть кинетической энергии, которая выделяется при торможении транспортного средства. Использование системы рекуперации, позволяет сократить до 10...15% топлива, при использовании рекуперированной энергии в последующем, как источник движущей силы. Наиболее распространенной из таких систем является система рекуперации кинетической энергии (Kinetic Energy Recovery Systems (KERS)). Данная система широко используется в болидах Формула 1. В сельском хозяйстве представляется возможность использования другой системы «i-ELOOP». Такая система оснащается дополнительным генератором, который преобразует кинетическую энергию автомобиля при торможении в электрическую, напряжением до 25В, что позволяет снизить нагрузку на общий генератор и как следствие повысить экономичность ДВС

Ключевые слова: ТОК, ТОРМОЖЕНИЕ, КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ, АВТОМОБИЛЬ, ГЕНЕРАТОР

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-205-036>

<http://ej.kubagro.ru/2025/01/pdf/36.pdf>

УДК 621.333.41

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

### ON THE QUESTION OF DEFORMATION OF CORN COBS IN A PLANETARY THRESHING UNIT

Poluektov Aleksander Aleksandrovich  
assistant  
[aleksandr.poluektov2000@yandex.ru](mailto:aleksandr.poluektov2000@yandex.ru)

Samurganov Evgeny Yermanekosovich  
Associate Professor  
[samurganov@mail.ru](mailto:samurganov@mail.ru)

Sarksyan Movses Dmitrievich  
student  
[movses.sarksyan.03@mail.ru](mailto:movses.sarksyan.03@mail.ru)  
*FSBEI HE Kuban SAU, Krasnodar, Russia*

The regenerative drive of a vehicle is a complex, usually electrical, system aimed at recovering part of the energy expended by means of an electric motor retarder. In conditions of limited world reserves of liquid fossil fuels, development of new sources of energy production is a key task. One of such sources will be discussed in this research paper. Energy recovery is aimed at recovering part of the expended energy in various ways. In road transportation, the process of regeneration takes place in the braking system of the vehicle when the latter does work by the braking system. The kinetic energy recovery system allows the conversion of a part of the kinetic energy that is released during the braking of the vehicle. The use of regeneration system allows to reduce up to 10...15% of fuel when using the recovered energy as a source of driving force. The most common of such systems is the Kinetic Energy Recovery Systems (KERS). This system is widely used in Formula 1 cars. In agriculture it is possible to use another system “i-ELOOP”. Such a system is equipped with an additional generator, which converts the kinetic energy of the car during braking into electric energy, voltage up to 25V, which reduces the load on the general generator and as a consequence increases the efficiency of the internal combustion engine

Keywords: CURRENT, BRAKING, TORQUE, CAR, GENERATOR

Автомобильный транспорт на сегодняшний день является основным способом доставки грузов и перевозки пассажиров как на маленькие, так и на большие расстояния. Следствием этого является колоссальное потребление топлива, которого с каждым годом становится все меньше и меньше. В настоящее время существуют различные источники альтернативных видов топлива (электроэнергии и газообразное топливо). Развитие технологий в данной области способствовало появлению гибридных и полностью электрических транспортных средств.

В гибридных автомобилях активно используются системы рекуперации кинетической энергии торможения, что приводит к повышению запаса хода автомобиля, тоже самое касается и электрических автомобилей.

В сельскохозяйственном производстве на автомобильный транспорт приходится до 85% всех транспортных работ (отвоз собранного урожая, транспортировка с.-х. техники на большие расстояния и т.д.). В связи с этим на автомобильный транспорт в сельском хозяйстве приходится значительные затраты топлива. Рекуперативный привод, установленный на грузовых автомобилях, позволит сократить расходы топлива, так как научно доказано, что на генерировании электроэнергии автомобильными генераторами расходуется до 10% топлива [1]. Установки рекуперативного привода тормозных механизмов на грузовых автомобилях особенно оправдана их массой, которая в десятки раз больше массы легкового автомобиля, что позволяет получать большую кинетическую энергию, а следовательно, и больший крутящий момент на валу генератора.

Наиболее перспективной системой рекуперативного привода транспортного средства является система «i-ELOOP». Общий вид данной системы представлен на рисунке 1.1.

Система «i-ELOOP» позволяет восстанавливать потерянную энергию при торможении автомобиля, благодаря установке дополнительного генератора в мосту или в промежуточном соединении, что позволяет его ис-

пользовать при торможении транспортного средства, когда двигатель отключается от трансмиссии, но на колесах все еще остается большой запас крутящего момента. Использование системы рекуперации тормозного момента, позволяет сократить расход топлива до 5%, что может существенно сказаться на экономичности автомобиля.



Рисунок 1 – Общий вид системы рекуперативного привода ТС

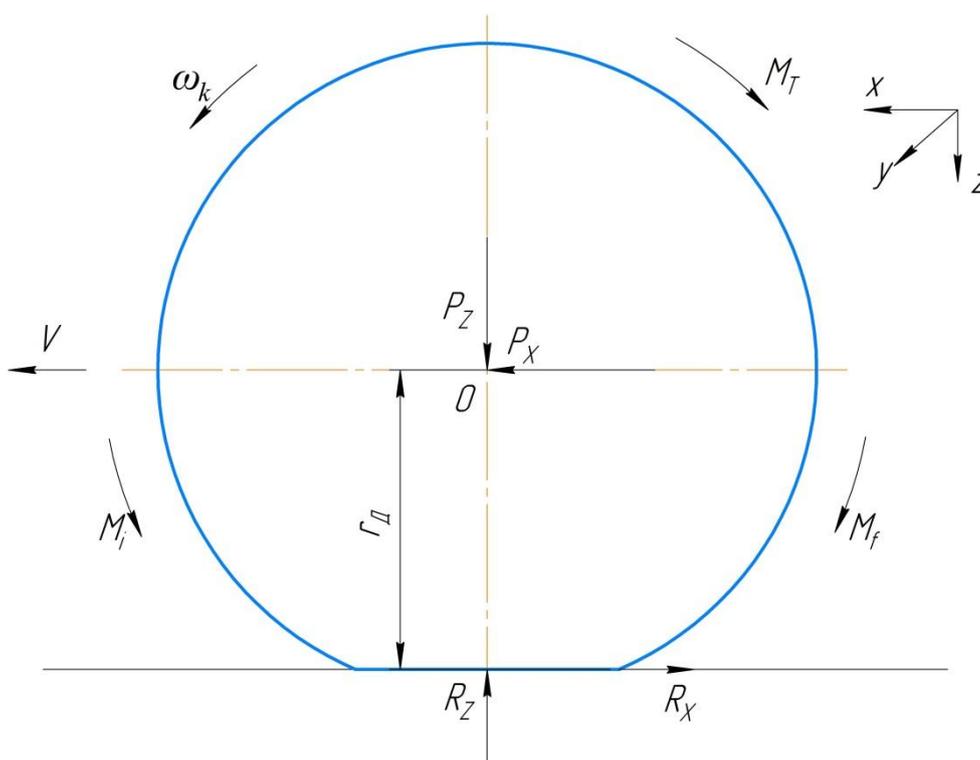


Рисунок 2 – Схема действия сил на колесо в момент торможения

В настоящий момент времени автомобильный транспорт оснащается большим количеством потребителей электроэнергии, что повышает нагрузку на генератор, следовательно, повышается количество вырабатываемой генератором энергии, что неминуемо приводит к повышению расхода топлива ДВС [2, 3].

Ссылаясь на обозначения, указанные на рисунке 1.2, определим крутящий момент, на валу электрогенератора.

На основании теории статики, приведем необходимые уравнения в виде системы уравнений (1):

$$\begin{cases} \sum F_X = 0; \\ \sum F_Z = 0; \\ \sum M_Y = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Подставим известные значения и получим систему уравнений (2):

$$\begin{cases} P_X - R_X = 0; \\ P_Z - R_Z = 0; \\ R_X r_d - M_T - M_f + M_i = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где  $R_X$  – касательная реакция колеса, Н;

$P_X$  – движущая сила, Н;

$P_Z$  – нагрузка на колесо, Н;

$R_Z$  – реакция дороги, Н;

$r_d$  – динамический радиус колеса, м;

$M_T$  – тормозной момент, Нм;

$M_f$  – момент сопротивления качению, Нм;

$M_i$  – инерционный момент колеса, Нм.

На рисунке 1.2 действие сил и моментов показано в момент работы тормозных механизмов транспортного средства. Далее проведя преобразования, и принимая во внимания тот факт, что реакция дороги равняется нагрузке на колесо, а движущая сила равняется касательной реакции, со-

гласно третьему закону Ньютона, следовательно, полученная система уравнений получит вид:

$$\begin{cases} P_X = R_X; \\ P_Z = R_Z; \\ R_X r_d - M_T - M_f + M_i = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Учитывая то, что тормозной момент будет равен моменту на валу генератора, вычислим его из третьего уравнения системы (3), получим:

$$M_T = R_X r_d - M_f + M_i \quad (4)$$

Полученное уравнение (4), позволяет определить момент на валу генератора в любой момент времени торможения автомобиля.\

Далее определим среднее напряжения заряда в момент торможения автомобиля

Уравнение динамики вращательного движения для ротора генератора

$$I\varepsilon = M_T \quad (5)$$

где  $I$  – момент инерции ротора генератора

$\varepsilon$  – угловое ускорение ротора генератора, при торможении оно отрицательное

$$\varepsilon = \frac{M_T}{I} < 0 \quad (6)$$

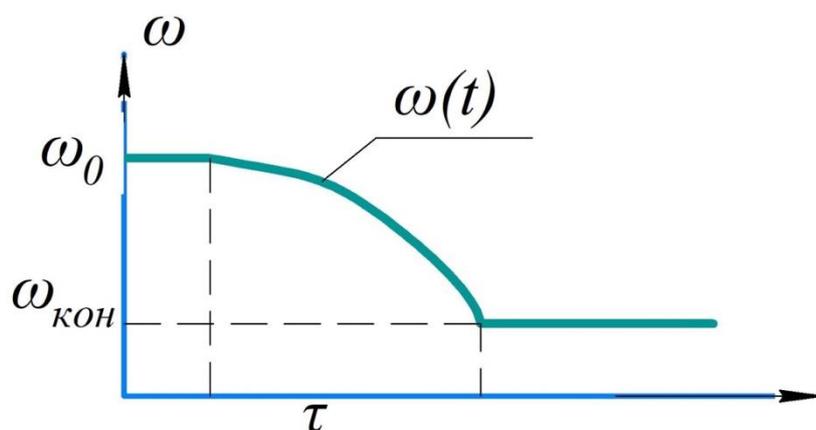


Рисунок 3 – График изменения угловой скорости ротора от времени торможения

Угловая скорость ротора изменяется согласно графику (рисунок 3). График изменения угловой скорости колеса представлен для автомобиля, который замедляет скорость движения, в случае полной остановки или более интенсивного изменения угловой скорости колеса график будет меняться.

Зависимость  $\omega(t)$  во время торможения

$$\omega_{\text{ср}} = \omega_0 + \int_0^{\tau} \frac{M_T}{I} dt = \omega_0 + \frac{1}{I} \int_0^{\tau} M_T dt \quad (7)$$

ЭДС индукции в обмотке ротора

$$U = \varepsilon_{\text{инд}} = -L \frac{dI}{dt} \quad (8)$$

где  $L$  – индуктивность обмотки ротора

Сила тока в обмотке

$$I = I_0 \sin(\omega t) \quad (9)$$

где  $I_0$  – амплитудное значение тока в обмотке

$$\frac{dI}{dt} = I_0 \omega \cos(\omega t) \quad (10)$$

Среднее значение напряжения

$$U_{\text{ср}} = |\varepsilon_{\text{ср}}| = L \left( \frac{dI}{dt} \right)_{\text{ср}} \quad (11)$$

$$\left( \frac{dI}{dt} \right)_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{2}}{2} I_0 \omega_{\text{ср}} \quad (12)$$

$$U_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{2}}{2} I_0 \omega_{\text{ср}}$$

Зная, что при торможении транспортного средства, тормозной момент является переменной величиной, а его максимальное значение достигается в начальный момент торможения, то заряжать аккумуляторную батарею напрямую нецелесообразно, в системе предусматривается установка конденсаторов высокой емкости, которые заряжаются напрямую от гене-

ратора. Напряжение, выдаваемое генератором, в начальный момент торможения может составлять до 25В, что противоречит требованиям автомобильных АКБ, напряжения заряда которых составляет 12В. С этой целью в системе «i-ELOOP» предусмотрена установка преобразователя, который поддерживает постоянное напряжение заряда АКБ от генератора рекуперативной системы торможения 12В, постепенно разряжая конденсаторы высокой емкости и заряжая АКБ автомобиля.

Использование системы рекуперации на автомобильных тормозных системах, особенно оправдано при их использовании в горной местности, где при движении на спуск, тормозные системы постоянно работают, а следовательно и приводится в действие генератор рекуперативной тормозной системы, что является особенно актуальным в условиях предгорной местности Краснодарского края. Использование системы рекуперации тормозов на грузовых автомобилях, работающих на горной местности может быть обосновано использованием последней в качестве зарядного источника для дополнительных АКБ, которые за тем будут установлены на другие транспортные средства, тем самым происходит экономия как времени, так и энергоресурсов, в отличие от зарядки АКБ в стационарных условиях от промышленной сети (220В) [4].

Вторым наиболее перспективным направлением использования рекуперативной тормозной системы является использование его в качестве источника энергии для питания тягового электродвигателя. При движении на спуске АКБ заряжается от генератора рекуперативной тормозной системы, а при начале движения на подъем выработанная электроэнергия идет для питания тягового электродвигателя, тем самым общая мощность автомобиля при движении на подъем увеличивается. Такой вариант использования рекуперативной тормозной системы позволяет расход топлива ДВС, при движении на подъем, так как часть тяги автомобиля осуществляется за счет тяговых электродвигателей.

Таким образом система рекуперации автомобиля позволяет немного (до 5%) сократить расход топлива, а в некоторых случаях и повысить его тяговые способности, пользуясь формулами (4) и (12), можно определить крутящий момент на валу генератора и среднее значение вырабатываемого им напряжения при использовании тормозных механизмов.

### Список литературы

1. Пузаков, А. В. Оценка влияния автомобильного генератора на расход топлива автомобиля / А. В. Пузаков // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 4. – С. 83-93. – DOI 10.25198/2077-7175-2023-4-83.
2. Патент № 2340474 С1 Российская Федерация, МПК В60К 17/356, В60К 17/14, В60К 6/26. Силовая передача транспортного средства с электромеханическим регулированием мощности на колесно-гусеничный движитель : № 2007119746/11 : заявл. 28.05.2007 : опубл. 10.12.2008 / Е. В. Медведев, А. М. Клишнов, А. Н. Абрамов [и др.] ; заявитель РЯЗАНСКИЙ ВОЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ имени генерала армии В.П. ДУБЫНИНА.
3. Патент на полезную модель № 175105 U1 Российская Федерация, МПК В60Т 8/00. двухконтурная система торможения мотор-колесом : № 2017104944: заявл. 15.02.2017 : опубл. 21.11.2017 / В. О. Вагнер, Д. В. Щуровский.
4. Щербаков, В. Ф. Рекуперативная система привода грузоподъемных машин / В. Ф. Щербаков // Строительные и дорожные машины. – 2008. – № 9. – С. 49-51.
5. Жавнер, В. Л. Мехатронный рекуперативный привод для возвратно-поступательных перемещений / В. Л. Жавнер, М. В. Жавнер, О. Н. Мацко // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2012. – № 2. – С. 304-310.
6. Миничев, А. В. Повышение эффективности работы рекуперативных приводов / А. В. Миничев, В. Л. Жавнер // Неделя науки СПбГПУ : материалы научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 02–07 декабря 2013 года / Редакционная коллегия: М.С. Кокорин (ответственный редактор) и др.. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет", 2014. – С. 8-10.
7. Патент на полезную модель № 158169 U1 Российская Федерация, МПК В25J 19/00. рекуперативный привод : № 2015136046/02 : заявл. 25.08.2015 : опубл. 20.12.2015 / О. Н. Мацко, А. В. Миничев ; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" (ФГАОУ ВО "СПбПУ").

### References

1. Puzakov, A. V. Ocenka vliyaniya avtomobil'nogo generatora na rasход topliva avtomobilya / A. V. Puzakov // Intellect. Innovacii. Investicii. – 2023. – № 4. – S. 83-93. – DOI 10.25198/2077-7175-2023-4-83.
2. Patent № 2340474 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK B60K 17/356, B60K 17/14, B60K 6/26. Silovaya peredacha transportnogo sredstva s e`lektromexanicheskim reguli-

rovaniem moshhnosti na kolesno-gusenichny`j dvizhitel` : № 2007119746/11 : zayavl. 28.05.2007 : opubl. 10.12.2008 / E. V. Medvedev, A. M. Klinshov, A. N. Abramov [i dr.] ; zayavitel` RYaZANSKIY VOENNY`J AVTOMOBIL`NY`J INSTITUT imeni generala armii V.P. DUBY`NINA.

3. Patent na poleznuyu model` № 175105 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK B60T 8/00. dvuxkonturnaya sistema tormozheniya motor-kolesom : № 2017104944: zayavl. 15.02.2017 : opubl. 21.11.2017 / V. O. Vagner, D. V. Shhurovskij.

4. Shherbakov, V. F. Rekuperativnaya sistema privoda gruzopod`yomny`x mashin / V. F. Shherbakov // Stroitel`ny`e i dorozhny`e mashiny`. – 2008. – № 9. – S. 49-51.

5. Zhavner, V. L. Mexatronny`j rekuperativny`j privod dlya vozvratno-postupatel`ny`x peremeshhenij / V. L. Zhavner, M. V. Zhavner, O. N. Maczko // Sovremen-noe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie. – 2012. – № 2. – S. 304-310.

6. Minichev, A. V. Povy`shenie e`ffektivnosti raboty` rekuperativny`x privodov / A. V. Minichev, V. L. Zhavner // Nedelya nauki SPbGPU : materialy` nauchno-prakticheskoy konferencii c mezhdunarodny`m uchastiem, Sankt-Peterburg, 02–07 de-kabrya 2013 goda / Redakcionnaya kollegiya: M.S. Kokorin (otvetstvenny`j redaktor) i dr.. Tom Chast` 1. – Sankt-Peterburg: Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego professional`nogo obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gosudarstvenny`j politexnicheskij universitet", 2014. – S. 8-10.

7. Patent na poleznuyu model` № 158169 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK B25J 19/00. rekuperativny`j privod : № 2015136046/02 : zayavl. 25.08.2015 : opubl. 20.12.2015 / O. N. Maczko, A. V. Minichev ; zayavitel` federal`noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij politexniche-skiy universitet Petra Velikogo" (FGAOU VO "SPbPU").