

METHODS EXPERIMENTAL RESEARCH WORKING CHARACTERISTICS OF THE ELECTROMAGNETIC SHOCK ABSORBER

**S. Rozhkova, assistant professor, cand. eng. sc.,
S. Rozhkov, post graduate student KhNAHU**

***Abstract.** Description of the technique of experimental research and building of the working characteristics of the electromagnetic shock absorber based on the properties of the cylindrical linear machine. A mathematical model that describes the experimental study was built. The design of the experimental plant and the principle of experimental measurements was described.*

***Keywords:** Electromagnetic shock absorber, cylindrical linear machine, experimental plant, electro-motive force, Ampere force.*

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АМОРТИЗАТОРА

С.Э. Рожкова, доцент, к.т.н., С.П. Рожков, аспирант, ХНАДУ

***Аннотация.** Описана методика экспериментальных исследований и построения рабочих характеристик электромагнитного амортизатора основанная на свойствах цилиндрической линейной машины. Построена математическая модель, описывающая экспериментальные исследования. Описано устройство экспериментального стенда и принцип проведения экспериментальных измерений.*

***Ключевые слова:** Электромагнитный амортизатор, цилиндрическая линейная машина, экспериментальный стенд, электродвижущая сила, сила Ампера.*

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО АМОРТИЗАТОРА

С.Е. Рожкова, доцент, к.т.н., С.П. Рожков, аспірант, ХНАДУ

***Анотація.** Описано методику експериментальних досліджень та побудови робочих характеристик електромагнітного амортизатора, заснована на властивостях лінійної циліндричної машини. Побудована математична модель, яка описує експериментальні дослідження. Описано устрій експериментального стенда та принцип проведення експериментальних вимірів.*

***Ключові слова:** Електромагнітний амортизатор, циліндрична лінійна машина, експериментальний стенд, електрорушійна сила, сила Ампера.*

Introduction

Improving the energy efficiency of a car is one the most important tasks of the modern automotive industry. One way is to replace less efficient units of a car with those that are more energy-

efficient. Thus, replacing the passive hydraulic shock absorber on the control electro-magnetic shock absorber with the possibility of fluctuations energy regeneration on-board network is an urgent task to improve the energy efficiency of a car.

Studies of electromagnetic shock absorber and construction of its performance requires the establishment of test procedures and test facility.

Analysis of publications

The classic way of experimental studies for passive hydraulic shock absorber described in [1]. A shock-absorber rod supplied harmonic disturbance of known frequency and amplitude. After that, the parameters are measured to determine movement of the rod in the compression and rebound damping. The resulting cyclic chart graphically converted in the performance damper. Modern shaker tests can check the status of suspension systems [2] without dismantling the shock absorbers. It can transfer all characteristics of the shock absorbers directly to the output device computer subsystem. In developing an EMSA at the Eindhoven University of Technology was established test stand [3] which using a linear motor simulated random road surface with a given spectral density.

Properties of the electromagnetic shock absorbers enables us to investigate the performance by a more simple method.

Purpose and task

The purpose of experimental investigations is a performance characteristics building and finding of resistance coefficient for electromagnetic shock absorber (EMSA) in different working modes, sprung and unsprung weights, and movements mutual speed of an automobile.

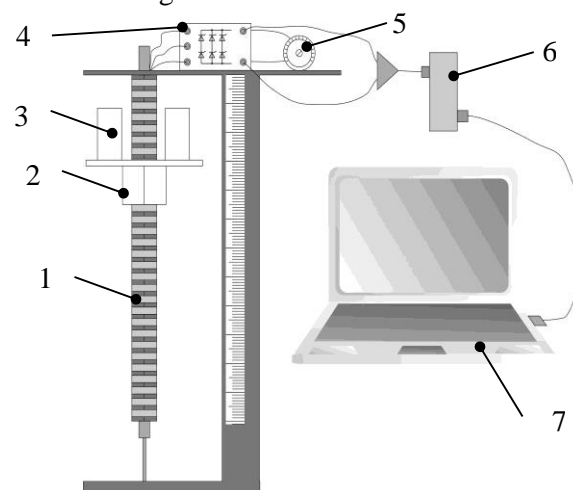
Main section

The EMSA is built on the base of cylindrical linear machine (CLM). Using CLM properties it becomes possible to make experimental investigations by methods for CLM [4].

The scheme of a test stand is shown in the fig. 1.

The magnetic part of EMSA is falling down along a three-phase winding. This is a simulation of sprung and unsprung weights mutual movement. The weights' different values will set the different speeds of falling. The experiment is based on the phenomenon of the current emergence in a conductor when it moves in permanent magnetic field. The electromotive force (emf) is inducted in the moving wires

when they move through the magnetic field and cross the magnetic field lines.



- 1) winding part; 2) magnetic part; 3) weights;
- 4) 6-pulse rectifier; 5) variable resistor;
- 6) digital oscilloscope IRIS; 7) notebook

Fig. 1 – The test facility scheme

This happens in accordance with the law of electromagnetic induction [5]. This emf equation is

$$E = -k \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$$

where E – emf;

k – construction coefficient;

$\frac{d\Phi}{dt}$ – magnetic flux changing.

When the winding is picked up into load or closed onto fault, the current begins to flow through it. The current generates a force that counteracts the magnetic part of EMSA movement.

This force is proportional to the movement speed of the magnetic part, which occurs under gravity force, but directed opposite to the movement.

After some time, the gravity force, which acts on the magnetic part of EMSA with weights, and the opposite force, will be balanced and speed stabilized. The value of the stabilized speed depends on the magnetic part weight with added weights, the resistance coefficient of EMSA and dry friction force.

The resistance coefficient of EMSA depends on the emf value, own resistance of the winding and load in winding circuit. The dry friction

force is generalized by the description of forces that have mechanic and magnetic character, directed opposite to movement and does not depend on movement speed. This force is determined experimentally and, as a rule, is considerably less than Ampere force.

For finding of the experimental stand main properties, we need to build the mathematical model of the magnetic part movement.

The movement differential equation is

$$m \frac{dv}{dt} + kv = mg - F, \quad (2)$$

where m – mass of the EMSA magnetic part with added weight;

k – resistance coefficient of EMSA;

v – speed of the EMSA magnetic part with added weight;

g – gravitational acceleration;

F – dry friction force.

The solution of differential equation is obtained in the form of

$$v = \frac{m}{k} \left(g - \frac{F}{m} - C \cdot e^{-\frac{k}{m}t} \right). \quad (3)$$

For integration constant C determination, let's put initial conditions – $v = v_0$, $t = 0$ into (3). At the end we'll get equation for current speed of EMSA magnetic part determination.

$$v = \frac{m}{k} \left(g - \frac{F}{m} - \left(g - \frac{F}{m} - \frac{v_0 k}{m} \right) e^{-\frac{k}{m}t} \right) \quad (4)$$

From (4) we can see that speed changing process is the subject of exponential dependence. If $t \rightarrow \infty$ the speed is approached by asymptote to the value $\frac{1}{k}(mg - F)$. The process speed determined as a ratio of the EMSA magnetic part with added weight mass and resistance coefficient. Let's accept the moment and the coordinate of the entry speed into the 5% asymptotic corridor values as the origin. Thus, the ratio of the remaining path and the time of passage of magnetic part with the added weight of this path, would enable us to determine steady speed. The Ampere force will be equivalent to the gravity force, which acts on the EMSA magnetic part

with added weights.

From (1) it is clear that induced emf is directly proportional to the movement speed, thus the moment of the emf steady state beginning is the same as the moment of the speed steady state beginning. Measure the emf signal with help of digital oscilloscope and determine the moment of the emf steady state beginning, thus we determine the steady speed of magnetic part with added weight movement.

By changing added weight and phase winding ohmic resistance, we can build working characteristics of EMSA. Working characteristics of any EMSA will be the reflection of the origin, thus it is enough to make movement only in one direction.

Conclusion

The proposed test method EMSA uses the basic principles of CLM. Its use simplifies the preparation of the performance of EMSA. It eliminates the need to create complex devices because it simulates harmonic or accidental disturbance and avoids the need for adapting a standard test stand, hydraulic shock absorbers for the design and requirements of EMSA. Adequacy of the mathematical model leads to a high prediction accuracy of expected results.

Bibliography

1. Дербаремдикер А. Д. Амортизаторы транспортных машин / Дербаремдикер А. Д. – М.: Машиностроение, 1985. – 200 с.
2. Suspension Tester. – Режим доступа: <http://www.hofmann.snaponequipment.eu/product/77004>
3. J. Janssen. Design of active suspension using electromagnetic devices: master's thesis / J. Janssen. – Eindhoven University of Technology, 2006 – 96 p.
4. B. Gysen. Slotted tubular permanent magnet actuator for active suspension systems / B. Gysen, J. Paulides, L. Encica, E. Lomonova // The 7th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications. Vol. 9 – 2009 – pp. 292–295.
5. Зильберман Г. Е. Электричество и магнетизм / Зильберман Г. Е. – М: Наука, 1970 г. – 384 с.

Рецензент О.П. Алексеев, профессор, д.т.н.,

ХНАДУ.

Статья поступила в редколлегию 02.05.2015

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ С СОХРАНЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

В.Я. Двадненко, доцент, к.т.н., ХНАДУ

***Аннотация.** Рассмотрены особенности рекуперации подзаряжаемого гибридного автомобиля. Предложена методика рекуперативного торможения подзаряжаемого гибридного автомобиля с сохранением тепловой энергии. Разработан для практической реализации предложенной методики блок преобразователя. Задача его преобразовать напряжение вентильного электродвигателя в режиме генератора в рабочее напряжение предпускового подогревателя.*

***Ключевые слова:** вентильный электродвигатель, конверсия автомобиля, гибридная силовая установка, рекуперация, преобразователь напряжения.*

ПЕРЕТВОРЮВАЧ НАПРУГИ ДЛЯ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ З ЗБЕРЕЖЕННЯМ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

В.Я. Двадненко, доцент, к.т.н., ХНАДУ

***Анотація.** Розглянуто особливості рекуперації гібридного автомобіля, який заряджається. Запропоновано методику рекуперативного гальмування такого гібридного автомобіля із збереженням теплової енергії. Розроблено для практичної реалізації запропонованої методики блок перетворювача. Завдання його перетворити напругу вентильного електродвигуна в режимі генератора в робочу напругу передпускового підігрівача.*

***Ключові слова:** вентильний електродвигун, конверсія автомобіля, гібридна силова установка, рекуперация, перетворювач напруги.*

VOLTAGE CONVERTER FOR REGENERATIVE BRAKING SYSTEM OF HYBRID CAR WITH THERMAL STORAGE

V. Dvadnenko, associate professor, Ph.D., HNADU

***Abstract.** We reviewed the characteristics recuperation rechargeable hybrid car. The technique of regenerative braking of a hybrid rechargeable car retaining heat. Designed for the practical implementation of the proposed methodology converter unit. His task is to convert the voltage BLDC motor as a generator to the operating voltage preheater.*

***Keywords:** BLDC motor, the conversion of a vehicle, a hybrid propulsion system, electric drive, recuperation, DC-DC convertor.*

Введение

В настоящее время хорошо известны преимущества подзаряжаемых гибридных

автомобилей. Особо следует отметить малый расход углеводородного топлива, а значит и малый выброс CO₂, при эксплуатации в городских условиях, поскольку

значительную часть пути, связанную с неэкономичными режимами работы ДВС, такой автомобиль может проходить за счёт энергии взятой из электрической сети при зарядке тягового аккумулятора. Эта энергия, сравнительно недорогая, существенно дешевле энергии из бензина, особенно если зарядка производится в ночное время, когда электроэнергия имеет низкую стоимость,

Анализ публикаций

Переоборудование (конверсия) обычного автомобиля в подзаряжаемый гибридный автомобиль (Plug-in Hybrid) дает возможность в несколько раз уменьшить стоимость километра пробега и существенно улучшить экологию. Для осуществления конверсии обычный автомобиль необходимо дополнить тяговым электроприводом. Тогда часть пути подзаряжаемый гибридный автомобиль может с высокой эффективностью двигаться только на электрической энергии тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ) [1,2].

Конверсия

На кафедре автомобильной электроники ХНАДУ была проведена конверсия автомобиля Ланос-пикап. Особенностью конверсии является относительно небольшая мощность электропривода и относительно небольшая энергоёмкость ТАБ (масса дополнительного оборудования менее 100 кг). Такой выбор обусловлен необходимостью достижения не только минимального увеличения массы и минимальной стоимости переоборудования, но и обеспечения малого времени зарядки ТАБ (2 часа). ТАБ состоит из 20 ячеек литиевых аккумуляторов WB-LYP90АНА суммарной энергетической ёмкостью 5,9 кВт*час и имеет массу 60 кг. Вентильный электродвигатель (ВЭД) для тягового электропривода, с целью снижения стоимости, разработан на базе синхронной электрической машины с электромагнитным возбуждением (автомобильного генератора Г290) [3]. Такой путь конверсии обычного автомобиля с механической коробкой перемены передач (МКПП) сохраняет возможность использовать его и как обычного автомобиля. Относительно небольшая мощность ВЭД (10 кВт) делает целесообразным кинематическую связь его с

ведущими колесам через вторичный вал МКПП с таким передаточным отношением, чтобы обороты идеального холостого хода ВЭД соответствовали скорости автомобиля примерно 50 км/час. Это позволит на электроприводе трогаться с места и уверенно набирать скорость около 40 км/час. Проблемы, связанные с малой мощностью электропривода и малой запасенной энергией в ТАБ не являются принципиальными. В случае необходимости преодолеть крутой подъем, рыхлый песок или снег (что требуется сравнительно редко) можно воспользоваться режимом обычного автомобиля с ДВС. Можно также на ДВС осуществлять энергичный разгон, однако следует отметить, что динамика разгона на таком сравнительно маломощном электроприводе в подавляющем большинстве случаев оказывается вполне достаточной в городском движении.

Дополнительные возможности рекуперации

В конверсионном гибридном автомобиле есть возможность организовать подзарядку ТАБ при рекуперативном торможении, когда ВЭД, работает в режиме генератора. После конверсии в автомобиле появляется возможность торможения с помощью ВЭД, которая позволит более гибко регулировать процесс замедления. В отличие от замедления при задействовании режима принудительного холостого хода (ПХХ) ДВС, замедление с помощью ВЭД имеет более простое включение-выключение и регулирование. Рассмотрим более подробно замедление с помощью ВЭД. Это замедление целесообразно включать вместе со «стоп-сигналом», путем отведения от упора педали тормоза, когда включение «стоп-сигнала» уже произошло, а соприкосновения колодок с дисками или барабанами еще нет. При этом появляется дополнительная возможность экономии энергии в условиях, когда отпущена педаль акселератора, но не нажата педаль тормоза, тогда реализуется режим движения без замедления от ВЭД, т.е. «накатом». В этом режиме после отпускания педали акселератора необходимость нажать на нее возникнет значительно позже, чем при движении в режиме ПХХ ДВС. В отличие от обычного автомобиля допустимость движения «накатом» в гибридном автомобиле появляется потому, что

торможение с помощью ВЭД, происходит без перегрева тормозной системы, и без усложнения процесса управления автомобилем. Величина замедления при торможении с помощью ВЭД примерно соответствует замедлению в режиме ПХХ ДВС, но при этом простое многократное включение и выключение замедления с помощью ВЭД позволяет водителю эффективно использовать кинетическую и потенциальную энергию автомобиля при движении. Более того, в режиме замедления подзаряжается ТАБ.

Сохранение энергии торможения

Однако существует проблема: относительно невысокая емкость ТАБ в конверсионном гибридном автомобиле, не позволяющая обеспечить необходимую эффективность электрического торможения во всех условиях, например, когда ТАБ достаточно заряжена и поэтому мала электрическая нагрузка ВЭД в режиме генератора. Кроме того, в гибридном автомобиле есть еще одна проблема: остывает ДВС при движении на электроприводе, поэтому повышается расход бензина при движении на остывшем ДВС. Также и в начале движения, пока идет прогрев ДВС, имеет место повышенный расход бензина. Для решения комплекса этих проблем в разработанном конверсионном автомобиле при нажатии на педаль тормоза (включении стоп-сигнала) электрическая энергия вырабатываемая ВЭД сохраняется не только путем зарядки ТАБ, но и путем подогрева охлаждающей жидкости (ОЖ) системы охлаждения ДВС [4]. Предложенный принцип рекуперативного торможения не только возвращает часть электроэнергии в ТАБ, но и помогает поддерживать тепловой баланс ДВС, а также позволяет иметь более широкий выбор режимов замедления автомобиля и экономить как углеводородное топливо, так и электроэнергию. Поскольку подзаряжаемый гибридный автомобиль, как правило, подключен к электросети на стоянке или в гараже, есть возможность перед выездом подогреть ОЖ от энергии, взятой из сети, что во много раз дешевле, чем бензин, который будет дополнительно израсходован на прогрев ДВС. Реализация подогрева ОЖ как от ВЭД в режиме генератора, так и от сети, связана с необходимостью преобразования

напряжения вырабатываемого ВЭД к рабочему напряжению предпускового подогревателя. Использован электрический предпусковой подогреватель «Северс-М» на 220 В 1,5 кВт с сопротивлением нагревателя 32 Ом. Включение подогрева от электрической сети перед выездом производится с помощью таймера или путем дистанционного управления по сотовой сети.

Преобразователь напряжения

Оптимальное выходное напряжение ВЭД в режиме генератора 28В, а для предпускового подогревателя «Северс-М» рабочее напряжение 220В. Поскольку подогреватель может быть запитан переменным высокочастотным напряжением, возможно применение преобразователя DC-AC. Мы считаем, что наилучшим образом удовлетворяет предъявленным требованиям резонансный полумостовой преобразователь, который при правильном выполнении не требует дополнительных защит, а «мягкое» переключение силовых ключей кроме того повышает КПД и снижает требования к силовым транзисторам и радиатору, на котором они смонтированы. Функциональная схема этого преобразователя приведена на рис.1, где, и далее по тексту, использованы сокращения: СЭМ – синхронная электрическая машина, ОВ – обмотка возбуждения синхронной электрической машины, БУВ – блок управления возбуждением, БУР – блок управления рекуперацией, БПОЖ – блок подогрева охлаждающей жидкости ДВС, ЛСС – лампа «стоп-сигнала», Ш – токоизмерительный шунт. Рассмотрим работу системы рекуперативного торможения. ВЭД состоит из СЭМ и контроллера ВЭД. Силовые MOSFET ключи управляемого трехфазного моста этого контроллера на рис.1 обозначены Q1 – Q6. При срабатывании выключателя стоп-сигнала S1 напряжение с лампы стоп-сигнала подается на БУР и активизирует питание обмотки возбуждения, что обеспечивает питание от ВЭД полумостового резонансного преобразователя. Питание этого преобразователя происходит от трехфазного мостового выпрямителя, который выпрямляет трехфазное переменное напряжение, вырабатываемое ВЭД в режиме генератора. Диодами, выпрямляющими

положительные полуволны, являются диоды D1 – D3, а диодами, выпрямляющими отрицательные полуволны - обратные диоды MOSFET ключей Q2, Q4, Q6. Конденсатор C1 сглаживает выпрямленное напряжение. При работе преобразователя поочередно открываются транзисторы Q7 и Q8 с рабочей частотой, которая удовлетворяет условию резонанса цепи, состоящей из суммы индуктивностей L1 и индуктивности рассеяния первичной обмотки нагруженного трансформатора T1, а также конденсатора C3. Резонансный режим работы обеспечивает переключение силовых транзисторов при

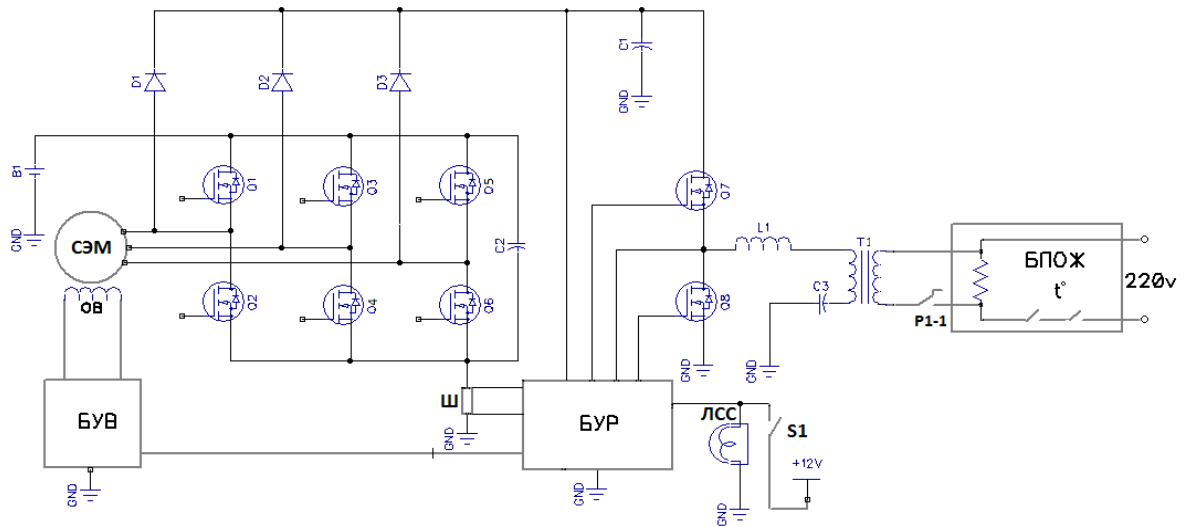


Рис.1 Функциональная схема системы рекуперативного торможения

минимальном токе и позволяет существенно повысить КПД и надежность преобразователя, а также снизить его стоимость. Трансформатор Т1 имеет коэффициент трансформации обеспечивающий на вторичной обмотке эффективное напряжение 220В. Поскольку регулирование выходного напряжения резонансного преобразователя выводит его из резонансного режима и снижает его эффективность, принято решение стабилизировать напряжение ВЭД в режиме генератора (входное напряжение преобразователя). Это напряжение поступает на БУР и задействовано там в цепи автоматического регулирования генерируемого напряжения через БУВ путем изменения тока в обмотке возбуждения. БУР обеспечивает по сигналу с шунта Ш ограничение предельного тока. На выход Т1 подключен нагреватель БПОЖ, питаемый переменным высокочастотным током. При каждом нажатии на педаль тормоза, в том числе и при отводе ее от упора без торможения колодками, срабатывает концевой выключатель S1, контакты P1-1 находящегося в БУР реле P1 замыкаются. В результате пока контакты S1 замкнуты, будет производиться питание нагревателя БПОЖ. При размыкании S1 питание реле P1 исчезает и его контакты возвращаются в исходное состояние. В случае, когда БПОЖ подключен к сети, контакты реле P1-1 обязательно разомкнуты и подогрев ОЖ до требуемой температуры осуществляется с участием терморегулятора встроенного в БПОЖ «Северс-М».

Выводы

Рассмотренные особенности рекуперации подзаряжаемого гибридного автомобиля позволяют реализовать дополнительные возможности по экономии топлива и электроэнергии. Предложенная методика рекуперативного торможения подзаряжаемого гибридного автомобиля позволяет также сохранять тепловую энергию охлаждающей жидкости ДВС. Для реализации предложенной методики разработан простой и эффективный блок преобразователя напряжения ВЭД в режиме генератора в рабочее напряжение предпускового подогревателя.

Литература

1. Конверсія легкового автомобіля в гібридний. / [Бажинов О.В., Двадненко В.Я., Хакім М.], монографія. – Харків: ХНАДУ, 2014. – 200 с.
2. Бажинов А.В., Двадненко В.Я. Хакім Мауц. Електропривод для конверсионного гібридного автомобіля. Автомобільний транспорт (Харьков), вып.30, 2012. с.7 – 12.
3. Василевский В.И. Автомобильные генераторы/ В.И. Василевский, Ю.А. Купеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1978. – 159 с.
4. Патент України на корисну модель №52009. Система рекуперативного гальмування гібридного автомобіля. Бажинов А.В., Двадненко В.Я., Колесников А.В. 10.08.2010. Бюл. №15, 2010 р.

Рецензент А.В. Бажинов, профессор, д.т.н.,

ХНАДУ.

Статья поступила в редколлегию 25.04.2015