

Ю.Н. ВАСЬКОВСКИЙ, М.В. ПОДА

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Методами математического моделирования исследованы характеристики системы рекуперации энергии механических колебаний транспортных средств при их движении в сложных дорожных условиях. Приведена структура системы, в состав которой входит трехфазный генератор переменного тока с постоянными магнитами, выпрямитель и аккумуляторная батарея. Исследованы режимы работы системы, обеспечивающие эффективные процессы зарядки аккумуляторной батареи. Исследовано влияние скоростных характеристик генератора на время и величину заряда батареи. На конкретном примере системы приведены данные о времени зарядки батареи для электропитания ряда автономных потребителей.

Ключевые слова: система рекуперации энергии, синхронный генератор с постоянными магнитами, аккумуляторная батарея.

Методами математичного моделювання досліджено характеристики системи рекуперації енергії механічних коливань транспортних засобів при їх русі в складних дорожніх умовах. Наведено структуру такої системи, до складу якої входить трифазний генератор змінного струму з постійними магнітами, випрямляч і акумуляторна батарея. Досліджено режими роботи системи, що забезпечують ефективні процеси зарядки акумуляторної батареї. Досліджено вплив швидкісних характеристик генератора на час і величину заряду батареї. На конкретному прикладі системи наведені дані про час зарядки батареї для електроживлення ряду автономних споживачів.

Ключові слова: система рекуперації енергії, синхронний генератор з постійними магнітами, акумуляторна батарея.

By methods of mathematical modelling, the characteristics of the system of energy recovery of mechanical vibrations of vehicles during their movement in difficult road conditions are investigated. Presented the structure of such a system, consisting of a three-phase alternating current generator with permanent magnets, a rectifier and a rechargeable battery. The operating modes of the system, which provide efficient processes of recharging a battery pack, and the influence of speed characteristics of the generator on the time and value of the battery charge is investigated. On a concrete example of the system data on the charging time of the battery for the power supply of a number of stand-alone consumers is given.

Keywords: energy recuperation system, synchronous generator with permanent magnets, rechargeable battery.

Постановка задачи. Расширение функциональных возможностей современных транспортных средств (ТС) требует использование на их борту новых устройств и систем, для работы которых необходимы дополнительные источники электропитания. Поскольку вся энергия, которую получает ТС для своего функционирования, поступает от приводного двигателя (обычно это двигатель внутреннего сгорания), то дополнительные источники электропитания можно получить только на основе принципов энергосбережения – путем выявления бесполезных потерь энергии в ТС и разработки систем их преобразования (рекуперации) в полезные запасы электроэнергии аккумуляторной батареи (АБ). Одной из таких является система электромеханического преобразования (рекуперации) энергии механических колебаний (СПЭМК) шасси ТС, возникающих при движении ТС. Разработка и исследование таких систем проводится рядом иностранных компаний – Bose, Levant Power Corp, Audi [1–3]. Например, мощность системы eROT для легкового автомобиля фирмы Audi составляет до 613 Вт на плохом покрытии и 100–150 Вт на обычных трассах. Систему СПЭМК следует отличать от разрабатываемых в ряде стран систем активной подвески шасси ТС, главным назначением которых является создание стабилизирующих усилий для уменьшения вертикальных колебаний шасси ТС с целью повышения комфорта езды, удержания дороги и др. (системы АС). В системах активной подвески также используется функция рекуперации энергии, однако она является дополнительной и направлена на снижение расхода электроэнергии, затрачиваемой на функционирование системы АС от бортовых источников электропитания [4–6].

Для анализа целесообразности применения СПЭМК необходимо оценить потери энергии в рессорах при движении ТС по пересеченной местности в результате механических колебаний его поддрессоренной массы (ПМ). При равномерном движении ТС по идеально ровной поверхности существует равновесие силы тяжести ПМ и реакции упругого элемента подвески. При этом ПМ не совершает вертикальных колебаний, а энергия двигателя расходуется только на преодоление силы трения колес о поверхность. При наличии на дороге ступеньки вниз глубиной h , колеса ТС быстро опускаются вниз, и под действием возникшего дисбаланса сил ПМ опускается вниз, уменьшая свою потенциальную энергию на величину $\Delta W = mgh$, где m – масса ПМ, g – ускорение свободного падения. После затухающих колебаний указанная энергия рассеивается в амортизаторах подвески и режим равномерного движения ТС восстанавливается. При наличии на дороге ступеньки вверх потенциальная энергия ПМ увеличивается за счет энергии приводного двигателя. В процессе колебаний ПМ происходит взаимное перемещение ПМ и неподдрессоренной массы (НПМ) ТС (колеса, шины, тормозные барабаны и др.) в вертикальной плоскости, которое позволяет создать системы электромеханического преобразования энергии механических колебаний в полезную электроэнергию. При наличии на дороге ряда ступеней (неровностей, ям) указанный процесс циклически повторяется. В реальных условиях повторяемость ям на дороге и их глубина носят случайный характер. Однако для оценки затрат энергии, вызванных вертикальными колебаниями ПМ ТС, можно вести эквивалентную частоту повторяемости процесса колебаний f в условиях одинаковой глубины ям h .

© Ю.Н. Васьковский, М.В. Пода, 2019

Рассмотрим примеры нескольких тяжелых ТС специального назначения: грузовик Kraz Shrec массой 17,5 т и бронетранспортер БТР-4 Буцефал массой 21,9 т. Предполагая, что соотношение НПМ и ПМ равно 1:15, что характерно для большинства ТС, величины ПМ для рассмотренных ТС равны соответственно 16,4 и 20,5 тонн. За одно колебание таких масс на глубину $h = 0,05$ м изменение потенциальной энергии ПМ составит $\Delta W = 8$ и 10 кДж соответственно. Если при движении ТС по пересеченной местности такие колебания повторяются, например, с частотой $f = 0,2$ Гц (период колебания равен 5 с), то мощность, которая теряется в механических или гидравлических амортизаторах ТС, равна соответственно $\Delta P = 1,6$ и 2 кВт. Очевидно, что такие же величины ΔP можно получить и при других соотношениях массы, глубины ступени и частоты повторения колебаний. Для интегральной оценки мощности механических колебаний с учетом различных факторов, влияющих на ее величину, можно ввести коэффициент мощности механических колебаний $k_e = m \cdot h \cdot f$, при этом величина теряемой мощности выражается: $\Delta P = g k_e$. При движении ТС в сложных дорожных условиях указанные потери мощности могут быть существенно больше.

Полученная оценка свидетельствует о значительных потерях мощности двигателя ТС на преодоление механических колебаний ПМ, что делает целесообразным ее рекуперацию, накопление в АБ и дальнейшее использование в системах ТС.

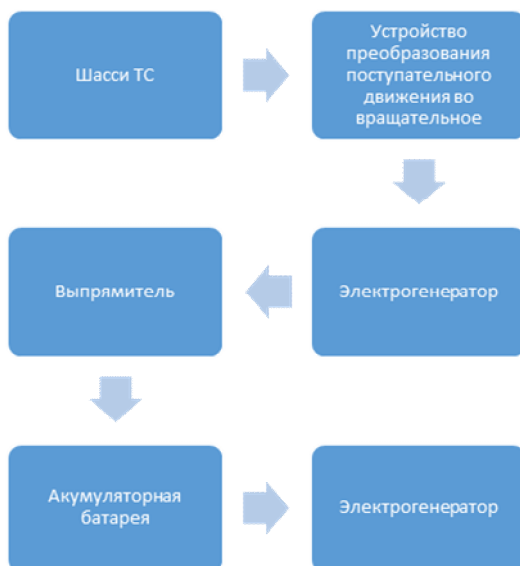


Рис.1 – Структурная блок-схема СПЭМК

Работа СПЭМК (рис. 1) происходит следующим образом. Взаимные возвратно-поступательные перемещения ПМ и НПМ через механическое преобразовательное устройство превращаются в *однонаправленное* вращательное движение ротора электрогенератора. При движении ПМ вниз такое устройство механически соединяет вал генератора с ПМ, чем обеспечивается передача ее кинетической энергии на вал генератора. При движении ПМ вверх устройство механически отсоединяет генератор от ПМ, а ротор соверша-

ет затухающее вращение до следующего движения ПМ вниз.

При этом обратной передачи энергии от генератора к ПМ не происходит. Генератор осуществляет электромеханическое преобразование энергии, переменное напряжение на выходе генератора выпрямляется в выпрямителе и заряжает АБ. Таким образом, в СПЭМК происходит однонаправленная (от ПМ к генератору) передача энергии и преобразование ее параметров в следующей последовательности: механическая энергия возвратно-поступательного движения – механическая энергия вращательного движения – электрическая энергия переменного тока – электрическая энергия постоянного тока.

Наиболее оптимальным типом электрогенератора в составе СПЭМК является трехфазный синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов (СПМ). Механический момент, приводящий СПМ во вращение, имеет случайный импульсный характер, обусловленный особенностями движения ТС. При этом у генератора нет длительного установившегося режима работы – он всегда работает в переходных режимах с переменной скоростью вращения вала. Поэтому использование постоянных магнитов как источника магнитного потока является оптимальным техническим решением с учетом особенностей функционирования СПЭМК, а также ряда других преимуществ генераторов такого типа (отсутствие электрических потерь в роторе, отсутствие подвижного электрического контакта между статором и ротором и др.).

Электрогенератор создает тормозящий электромагнитный момент, противодействующий вынужденным колебаниям шасси ТС. Таким образом, СПЭМК осуществляет две полезные функции: а) превращает часть энергии механических колебаний ТС в полезную электрическую энергию АБ; б) способствует гашению колебаний шасси, то есть частично выполняет функции амортизатора. Следует, однако, подчеркнуть, что в тяжелых ТС вторая функция не имеет существенного значения – СПЭМК не может заменить традиционные амортизаторы, а может лишь в незначительной мере дополнять их.

Целью статьи является обоснование методами математического моделирования оптимальных режимов работы СПЭМК, обеспечивающих эффективные процессы зарядки АБ. В частности, целью является изучение влияния частоты вращения ротора СПМ на время и величину заряда АБ, что в значительной мере определяет эффективность и целесообразность применения СПЭМК.

Математическая модель и результаты моделирования. Рассмотрим пример СПЭМК, в состав которого входит трехфазный СПМ. Конструктивно такой СПМ имеет ряд существенных отличий по сравнению с аналогичными синхронными машинами традиционного исполнения. Эти отличия обусловлены возможностями размещения генератора на шасси ТС, а также импульсными режимами его работы. Рассматриваемый пример генератора спроектирован с применением полевых методов расчета [7–9] и имеет сле-

дующие исходные данные: расчетная (номинальная) мощность 400 Вт; расчетная (номинальная) частота вращения ротора 200 об/мин; максимальная частота вращения ротора 1500 об/мин; линейное напряжение при максимальной частоте вращения ротора (действующее значение) 210 В; число пар полюсов 5; внешний диаметр яра статора 0,1 м; внутренний диаметр яра ротора 0,022 м; длина сердечника статора 0,26 м. Постоянные магниты на роторе имеют радиально направленный вектор намагниченности, а параметры магнитов выбираются исходя из необходимости получения в воздушном зазоре требуемой величины магнитного потока возбуждения (рис. 2).

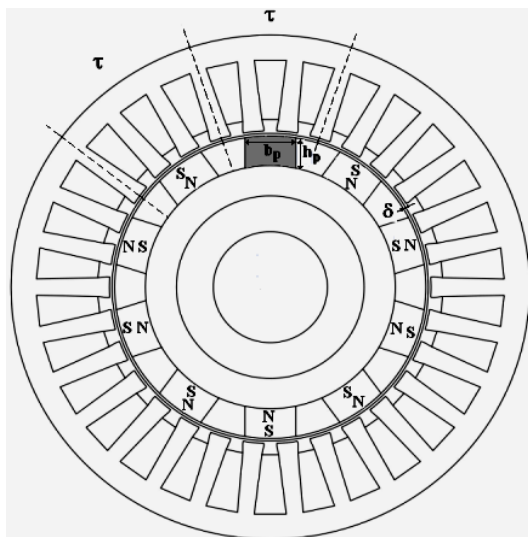


Рис. 2 – Эскиз поперечного сечения активной зоны СГПМ

Поскольку электрической нагрузкой СГПМ является выпрямитель и далее аккумуляторная батарея, то требование к синусоидальности временной функции ЭДС обмотки статора, которая обычно необходима в генераторах переменного тока традиционного исполнения, в данном случае отсутствует. Критерием выбора параметров конструкции СГПМ в составе СПЭМК является получение наибольшего значения действующего значения ЭДС обмотки статора. Величина магнитного потока возбуждения постоянных магнитов, а также параметры обмотки статора генератора задаются в блоке СГПМ динамической модели СПЭМК, которая реализована в системе Matlab-Simulink и представлена на рис. 3. Рассматривались аккумуляторные батареи типа Lithium-Ion, которые стойки к глубоким разрядам и имеют хорошие массогабаритные показатели. Номинальное напряжение АБ равно 12 В, а ее емкость варьировалась в пределах $C_{AB} = 1,5-5,5$ А·ч.

Представленная модель отображает только электрическую часть СПЭМК. Ее механическая часть, в частности устройство преобразования возвратно-поступательного движения шасси ТС в однонаправленное вращательное движение ротора СГПМ, может быть построено на основе известных конструкций механики. Учитывая односторонний характер обмена энергией между электрической и механической частью СПЭМК (от шасси к генератору) такой подход

для анализа допустим. При этом входной величиной в представленной модели является заданная функция частоты вращения ротора СГПМ $n(t)$. Выходными расчетными величинами являются текущий уровень энергии заряда аккумуляторной батареи E_{AB} , выраженный в процентах по отношению к максимально допустимому уровню, текущие значения тока и напряжения АБ, а также время ее зарядки.

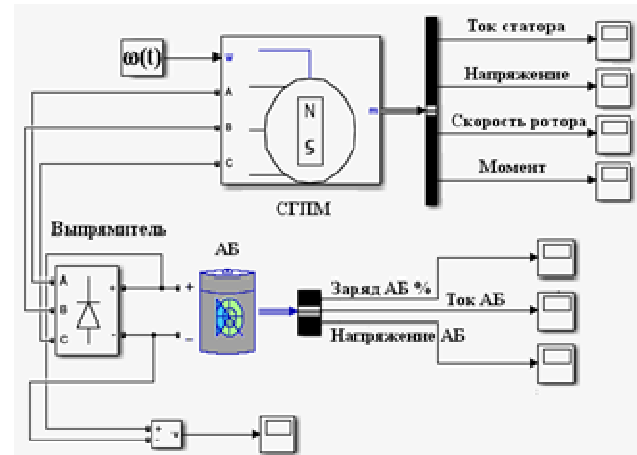


Рис. 3 – Блок СГПМ динамической модели СПЭМК

Возможно создание СПЭМК и без устройства преобразования возвратно-поступательного движения, что упрощает систему. Однако в этом случае эффективность энергопреобразования в генераторе существенно снизится, поскольку быстрая смена направления вращения ротора ведет не только к динамическим нагрузкам и потере кинетической энергии ротора, но и к снижению ЭДС обмотки статора вследствие низкой результирующей скорости ротора.

Важным вопросом исследования является определение минимально допустимых частот вращения ротора СГПМ, при которых возможна полная зарядка АБ. На рис. 4 представлены временные зависимости текущего уровня энергии заряда аккумуляторной батареи E_{AB} (в процентах), ёмкостью 1,5 А·ч при различных и неизменных по величине частотах вращения вала ротора СГПМ n_R .

Цифрами на рис. 4 обозначено: 1 – зависимость $E_{AB}(t)$ при номинальной частоте вращения ротора 200 об/мин; 2 – при частоте вращения ротора 171 об/мин; 3 – при частоте вращения 162 об/мин; 4 – при частоте вращения 152 об/мин. Из рис. 4 следует, что если при номинальной частоте вращения ротора для полного заряда данной АБ требуется около 900 с (или 15 мин.), то, например, уже при частоте вращения 152 об/мин АБ можно зарядить всего до 4,5 % ее максимально возможного энергоресурса. Этот вывод иллюстрирует также рис. 5, на котором изображена зависимость времени полного заряда АБ ёмкостью 1,5 А·ч t_z от частоты вращения ротора при неизменности ее значения на протяжении всего процесса зарядки АБ. Из рис. 5 видно, что существует оптимальный диапазон скоростей ротора (обозначен затемненной

фоновой закраской), при котором процесс зарядки АБ эффективен.

В данном случае этот диапазон равен 195–220 об/мин. При скоростях меньших, чем указанные в диапазоне, время зарядки быстро увеличивается и далее полный заряд АБ становится вообще недостижимым. При более высоких частотах вращения время зарядки уменьшается, но незначительно, хотя и происходит при существенно большей интенсивности процесса вращения ротора. Такой вывод всегда справедлив для любых АБ и СГПМ с другими параметрами. Таким образом, работоспособность и возможность эффективного функционирования СПЭМК в значительной мере зависит от правильного согласования параметров АБ и СГПМ, которые можно установить лишь в результате подробных расчетов конкретного проекта СПЭМК.

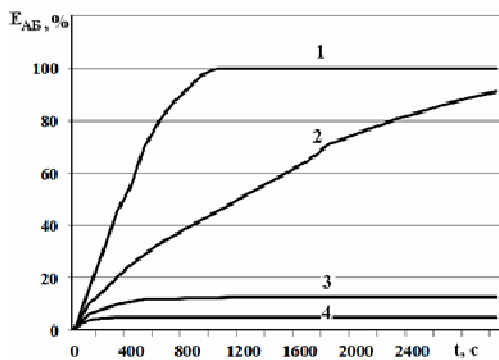


Рис. 4 – Временные зависимости текущего уровня энергии заряда аккумуляторной батареи E_{AB}

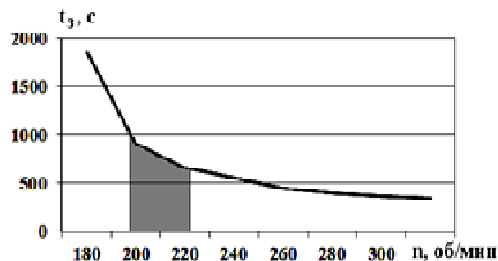


Рис. 5 – Зависимость времени полного заряда АБ ёмкостью 1,5 А·ч от частоты вращения ротора при неизменности ее значения на протяжении всего процесса зарядки АБ

В общем случае частота вращения ротора СГПМ является случайной функцией, зависящей от дорожных условий движения ТС. На рис. 6 на временном отрезке длительностью 15 с в качестве характерного примера изображена произвольная функция частоты вращения, содержащая «всплески» и «провалы» мгновенных значений. Её среднее значение равно 150 об/мин, а отрезки с более высокими скоростями отмечены темной фоновой закраской. Как видно из данных на рис. 4 при неизменной частоте вращения 150 об/мин АБ может зарядиться всего до ~ 4,5 % своего максимального заряда. Однако, как следует из результатов моделирования, за счет локальных «всплесков» частоты вращения процесс зарядки АБ происходит значительно эффективнее. Если представленную на рис. 6 функцию частоты вращения периодически продолжить во времени с периодом 15 с, то АБ *полно-*

стью зарядится за 33 мин, что на 18 мин больше, чем при неизменной номинальной частоте вращения 200 об/мин.

Таким образом, среднее значение переменной частоты вращения ротора СГПМ в процессе зарядки АБ *не может использоваться* в качестве определяющего параметра, характеризующего возможность и время зарядки АБ. Для расчета времени зарядки необходимо учитывать весь спектр мгновенных значений частот вращения ротора, причем существенное положительное влияние на эффективность СПЭМК будут иметь всплески частоты вращения. Хотя представленный на рис. 6 график не является типовым, однако он позволяет оценить влияние переменной частоты вращения ротора генератора на время заряда АБ.

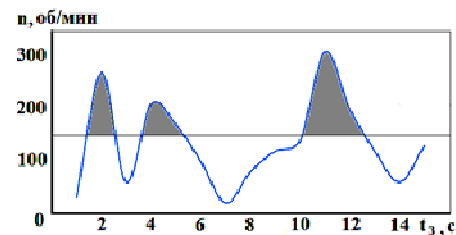


Рис. 6 – Произвольная функция частоты вращения, содержащая «всплески» и «провалы» мгновенных значений

Существенное значение имеет оценка времени заряда АБ в зависимости от её ёмкости. На рис. 7 представлены графики зависимостей времени полной зарядки АБ от её ёмкости для двух вариантов заданных функций частоты вращения ротора. Цифрой 1 обозначен график при неизменной номинальной частоте вращения ротора 200 об/мин, а цифрой 2 обозначен график при переменной частоте вращения, представленной на рис. 6. Из рис. 7 следует линейная зависимость времени зарядки от ёмкости АБ. Также видно влияние колебаний частоты вращения ротора, ведущего в данном случае к более чем двукратному увеличению времени зарядки.

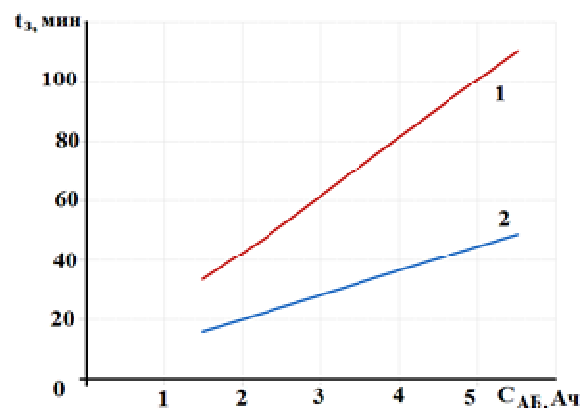


Рис. 7 – Зависимости времени полной зарядки АБ от её ёмкости для двух вариантов заданных функций частоты вращения ротора

Следует, однако, подчеркнуть, что при других условиях движения ТС, сопровождающихся резкими и интенсивными всплесками частоты вращения ротора СГПМ это соотношение может существенно улучшаться. Улучшение показателей достигается также за

счет применения ротора СГПМ с повышенным механическим моментом инерции или сочлененного с ротором дополнительного маховика. За счет накопленной в таком маховике кинетической энергии будут сглаживаться резкие колебания частоты вращения, а при отсутствии значительных колебаний подрессоренной массы ТС будет поддерживаться вращение ротора генератора в режиме холостого хода.

В табл. 1 приведены показатели времени t_3 и полной энергии заряда E_{AB} ряда характерных автономных потребителей, которые могут быть заряжены с помощью, рассмотренной СПЭМК при переменной частоте вращения ротора СГПМ (рис. 6).

Таблица 1 – Показатели времени и полной энергии заряда характерных потребителей

Нагрузка СПЭМК	E_{AB} , кДж	t_3 , мин
1. GPS-навигатор Prology iMap-520Ti	25,92	18,1
2. GPS-навигатор EasyGo 230	45,36	24,9
3. GPS-навигатор EasyGo 410	51,84	27,3
4. GPS-навигатор EasyGo 500Bi	60,48	31,2
5. АБ 1,5 А·ч, 12 В	64,8	33,5
6. АБ 2,5 А·ч, 12 В	108	51,7
7. АБ 3,5 А·ч, 12 В	151,2	71,7
8. Ноутбук Lenovo Z560	172,8	82
9. АБ 5,5 А·ч, 12 В	237,6	110,4

Указанные показатели могут быть улучшены при использовании более мощных СПЭМК, применяемых в тяжелых ТС специального назначения. Приведенные результаты свидетельствуют о целесообразности дальнейшей разработки и внедрения систем рекуперации энергии механических колебаний ТС.

Выводы. Система электромеханической рекуперации энергии механических колебаний шасси ТС, возникающих при его движении, создает дополнительный источник электропитания, обеспечивающий функционирование ряда дополнительных устройств и систем на борту ТС. Анализ показывает на достаточные запасы бесполезно теряемой энергии механических колебаний ТС, движущихся в сложных дорожных условиях, что делает целесообразным разработку и внедрение систем рекуперации этой энергии, особенно в тяжелых ТС. Основными составляющими системы являются: механическое устройство преобразования вертикальных возвратно-поступательных движений ПМ ТС в однонаправленное вращательное движение ротора электрогенератора, электрогенератор переменного тока с постоянными магнитами на рото-

ре, выпрямитель и аккумуляторная батарея, причем работоспособность и эффективность системы существенно зависит от правильного выбора и согласования параметров генератора и батареи.

Путем математического моделирования установлено, что для каждого набора параметров системы существует минимально допустимая частота вращения ротора генератора – при меньшей ее величине работа системы становится неэффективной. При этом с учетом непостоянства вращения ротора генератора среднее значение его частоты вращения за время движения ТС не может использоваться для оценки величины полезного заряда батареи.

Полученные показатели времени и энергии заряда нескольких автономных потребителей, свидетельствуют о приемлемой целесообразности создания и внедрения рассматриваемых систем.

Список литературы

1. Drive2 – Automobile magazine [Electronic resource] / «Electromagnetic suspension Bose». – 2016. – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/721443/>. – Дата звертання: 15.03.2018.
2. Drive2 – Automobile magazine [Electronic resource] / «GenShock – suspension system performing the function of energy regeneration». – 2016. – Режим доступа: <https://www.drive2.com/b/668040/>. – Дата звертання: 15.03.2018.
3. Audi MediaCenter [Electronic resource] / «The innovative shock absorber system from Audi». – 2017. – Режим доступа: <https://www.audi-mediacyenter.com/en/press-releases/the-innovative-shock-absorber-system-from-audi-new-technology-saves-fuel-and-enhances-comfort-6551>. – Дата звертання: 15.03.2018.
4. Morteza Montazeri-Gh. Investigation of the Energy Regeneration of Active Suspension System in Hybrid Electric Vehicles / Morteza Montazeri-Gh, Mehdi Soleymani // IEEE transactions on industrial electronics. 2010, vol. 57, no. 3, pp. 918–925.
5. Yan Shuai., Energy Regeneration Scheme and Self-powered Criterion of Motor-driven Active Suspension / Yan Shuai, Sun Weichao // Proceedings of the 35th Chinese Control Conference. Chengdu, China, 2016, pp. 8926–8931.
6. T.H. Pham. Integrated Model for Battery Electric Vehicles with Energy Harvesting Active Suspension System / T.H. Pham, J. Jacob, S. Wilkins, C. Lauwerys, M. Dhaens // 2017 Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). European Union, IEEE, 11-13 April 2017.
7. Антонов А.Е. Электрические машины магнитоэлектрического типа. Основы теории и синтез. / Антонов А.Е. – Киев. ИЭД НАНУ, 2011 – 216 с.
8. Васковский Ю.Н. Математическое моделирование и выбор конструктивных параметров тягового синхронного двигателя с постоянными магнитами / Васковский Ю.Н., Гайдено Ю.А., Русятинский А.Е. // Технічна електродинаміка. – 2013. – №6. – С.40–45.
9. Васковский Ю.М. Дослідження електромагнітних процесів в синхронних машинах з постійними магнітами на основі колопольових математичних моделей / Васковский Ю.М., Гайдено Ю.А. // Технічна електродинаміка. – 2018. – №2. – С. 47–54.

References (transliterated)

1. Drive2 – Automobile magazine [Electronic resource] // «Electromagnetic suspension Bose». Available at: <https://www.drive2.ru/b/721443/>. (accessed 15.12.2018)
2. Drive2 - Automobile magazine [Electronic resource] // «GenShock – suspension system performing the function of energy regeneration». Available at: <https://www.drive2.com/b/668040/>. (accessed 15.12.2018)
3. Audi MediaCenter [Electronic resource] // «The innovative shock absorber system from Audi». Available at: <https://www.audi-mediacyenter.com/en/press-releases/the-innovative-shock-absorber-system-from-audi-new-technology-saves-fuel-and-enhances-comfort-6551>. (accessed 11.10.2018)

4. Morteza Montazeri-Gh. Investigation of the Energy Regeneration of Active Suspension System in Hybrid Electric Vehicles / Morteza Montazeri-Gh, Mehdi Soleymani // Transactions on industrial electronics, IEEE, 2010, vol. 57, no. 3, pp. 918–925.
5. Yan Shuai. Energy Regeneration Scheme and Self-powered Criterion of Motor-driven Active Suspension / Yan Shuai, Sun Weichao // Proceedings of the 35th Chinese Control Conference, Chengdu, China July 27-29, 2016, pp. 8926–8931.
6. T.H. Pham. Integrated Model for Battery Electric Vehicles with Energy Harvesting Active Suspension System / T.H. Pham, J. Jacob, S. Wilkins, C. Lauwerys, M. Dhaens // Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), European Union, 11–13 April 2017.
7. Antonov A.E. Electric machines of magneto electric type. Fundamentals of the theory and synthesis. – Kiev, IED NASU, 2011, 16 p.
8. Vaskovsky Yu.N. Modeling the operating modes of the traction synchronous motor with permanent magnets / Vaskovsky Yu.N., Haydenko Yu.A., Rusyatinsky A.E. // Electrical engineering and electromechanics, 2013, no. 5, pp. 19–22.
9. Vaskovsky Yu.M. Investigation of electromagnetic processes in synchronous machines with permanent magnets on the basis of circuit-field mathematical models / Vaskovsky Yu.M., Haydenko Yu.A. // Kyiv, Technical electrodynamics, 2018, no. 2, pp. 47–54.

Поступила (received) 19.02.19

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Електромеханічні системи рекуперації енергії механічних коливань транспортних засобів / Ю.М. Васьковський, М.В. Пода // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії". – Х. : НТУ «ХПІ», 2019. – № 4 (1329). – С. 32-37. – Библиогр.: 9 назв. – ISSN 2409-9295.

Электромеханические системы рекуперации энергии механических колебаний транспортных средств / Ю.М. Васьковський, М.В. Пода // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії". – Х. : НТУ «ХПІ», 2019. – № 4 (1329). – С. 32-37. – Библиогр.: 9 назв. – ISSN 2409-9295.

Electromechanic systems of energy recovery of mechanical vibration of vehicles / Ju. M. Vaskovskiy, M. V. Poda // Bulletin of NTU "KhPI". Series: "Electric machines and electromechanical energy conversion." – Kharkiv : NTU "KhPI", 2019. – No. 4 (1329). – P. 32-37. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2409-9295.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Васьковський Юрій Миколайович, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», тел: (050) 10-220-10, email: vun157@gmail.com

Васьковський Юрій Николаевич, доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», email: тел: (050) 10-220-10, vun157@gmail.com

Vaskovskiy Yuriy Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Electromechanics, tel: (050) 10-220-10, email: vun157@gmail.com

Пода Михайло Валерійович, аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», email: poda.mv@gmail.com

Пода Михаил Валерьевич, аспирант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», email: poda.mv@gmail.com

Poda Mykhailo Valeriiovych, PhD Candidate, National technical university of Ukraine «Kyiv Politechnic Insitute», email: poda.mv@gmail.com