

УДК 629.113.066

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ В ГОРОДСКОМ ЕЗДОВОМ ЦИКЛЕ

С.А. Сериков, доц., к.т.н., В.Я. Двадненко, доц., к.т.н.,
Ю.Н. Бороденко, доц., к.ф.-м.н., Е.А. Серикова, доц., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Приведены результаты испытаний автомобиля с гибридной силовой установкой. Дана оценка тягово-скоростных характеристик, энергетических и экологических показателей гибридного автомобиля в городском ездовом цикле.

Ключевые слова: гибридная силовая установка, ездовой цикл, вентильный электродвигатель, тяговая аккумуляторная батарея, информационно-измерительный комплекс.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ У МІСЬКОМУ ЇЗДОВОМУ ЦИКЛІ

С.А. Серіков, доц., к.т.н., В.Я. Двадненко, доц., к.т.н.,
Ю.М. Бороденко, доц., к.ф.-м.н., О.А. Серікова, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Надано результати випробувань автомобіля з гібридною силовою установкою. Дано оцінку тягово-швидкісних характеристик, енергетичних та екологічних показників гібридного автомобіля у міському їздовому циклі.

Ключові слова: гібридна силова установка, їздовий цикл, вентильний електродвигун, тягова акумуляторна батарея, інформаційно-вимірвальний комплекс.

ANALYS OF EXPERIMENTAL HYBRID CAR TESTING RESULTS ON URBAN DRIVING CYCLE

S. Serikov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), V. Dvadnenko,
Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Y. Borodenko, Assoc. Prof., Ph. D. (Phys.-Math.),
E. Serikova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Kharkov National Automobile and Highway University

Abstract. The experimental hybrid car testing results are presented. The estimation of hybrid car draft-speed characteristics, energy and ecological indicators on urban driving cycle are given.

Key words: hybrid power unit, driving cycle, permanent-magnet synchronous motor, high-voltage battery, information-measuring complex.

Введение

В настоящее время перспективным направлением решения задачи повышения экологической безопасности и топливной экономичности автотранспортных средств считается применение гибридных силовых установок (ГСУ) [1]. Эффективность работы ГСУ в

значительной степени определяется характеристиками её системы управления, которая перераспределяет потоки мощности между силовыми агрегатами автомобиля.

Одним из решений проблемы гибридизации автомобилей является конверсия серийных автомобилей с ДВС. Доминирующую роль

при этом играет разработка оптимизирующих алгоритмов управления ГСУ.

Анализ публикаций

На кафедре автомобильной электроники Харьковского национального автомобильно-дорожного университета создан экспериментальный автомобиль с гибридной силовой установкой параллельного типа на базе переднеприводного автомобиля «Таврия-пикап» ЗАЗ-11024-08, оснащённого бензиновым двигателем МеМЗ-307 [2].

В качестве вспомогательного двигателя ГСУ на автомобиле применён оригинальный вентильный электродвигатель (ВЭД) с электромагнитным возбуждением [3, 4]. Проводить сравнительный анализ новых конструктивных решений ГСУ, не рассматривая алгоритмы перераспределения потоков мощности между ее силовыми агрегатами, не представляется возможным. В работе, посвященной анализу различных схем построения ГСУ, отмечена сложность формального описания силовой установки гибридного автомобиля как объекта управления [5].

При синтезе систем управления ГСУ возникают сложности с определением цели управления и критериев качества управления, зависящих от режима движения транспортного средства и дорожной ситуации.

Чтобы осуществлять мониторинг режимных параметров и параметров состояния силовых агрегатов ГСУ экспериментального гибридного автомобиля, создан бортовой измерительный комплекс [6]. Измерительный комплекс включает: блок системы управления ГСУ со штатными и дополнительными измерительными датчиками; блок преобразования и регистрации сигналов; персональный компьютер; адаптер RS-232/USB; адаптер линии связи K-line/USB.

Цель и постановка задачи

Целью исследований является идентифицировать режимы подачи топлива и значения управляющих воздействий для оптимизации процессов управления силовыми агрегатами установки и отладки программного обеспечения системы управления ГСУ. Для этого следует произвести количественную оценку тягово-скоростных характеристик, энергетических и экологических показателей гибридного автомобиля в городском ездовом цикле.

Результаты исследований

Для оценки эффективности экспериментального гибридного автомобиля были проведены ездовые испытания в городских условиях движения. Регистрация основных параметров, характеризующих функционирование ГСУ и её системы управления в процессе движения, осуществлялась при помощи разработанного бортового информационно-измерительного комплекса.

Режимы проведения ездовых испытаний иллюстрируют диаграммы, показанные на рис. 1. На скоростной диаграмме (рис. 1, а) отмечены отрезки времени, когда автомобиль приводится в движение от ДВС (двойная сплошная) и ВЭД (двойная пунктирная).

Из приведенных зависимостей видно, что при скоростях автомобиля, меньших 30–40 км/ч, движение осуществляется только за счет тягового электропривода. При этом его мощности вполне достаточно для поддержания тягово-скоростного режима в ситуациях высокой плотности транспортного потока и при движении в пробках.

На больших скоростях требуемый тягово-скоростной режим обеспечивается за счет ДВС. Сопоставляя скорость автомобиля и частоту вращения коленчатого вала ДВС, можно отметить, что движение на рассматриваемом участке пути осуществляется на четвертой передаче. При этом переключение с электропривода на ДВС и обратно происходит плавно, без рывков.

Для исследования параметров, характеризующих функционирование ГСУ и её системы управления, которые сложно поддаются прямому либо косвенному измерению, было осуществлено моделирование движения гибридного автомобиля с использованием разработанного ранее математического обеспечения. В процессе моделирования исследовался скоростной режим движения автомобиля, соответствующий проведенным дорожным испытаниям (рис. 1, а). Моделирование осуществлялось для автомобиля массой $m_A = 1030$ кг при следующих передаточных отношениях трансмиссии: $\gamma_{ГП} = 4,133$; $\gamma_1 = 3,454$; $\gamma_2 = 2,056$; $\gamma_3 = 1,333$; $\gamma_4 = 0,969$; $\gamma_5 = 0,828$; $\gamma_M = 2\gamma_{ГП}$. Период дискретизации сигналов составлял $T_d = 35,55$ мс.

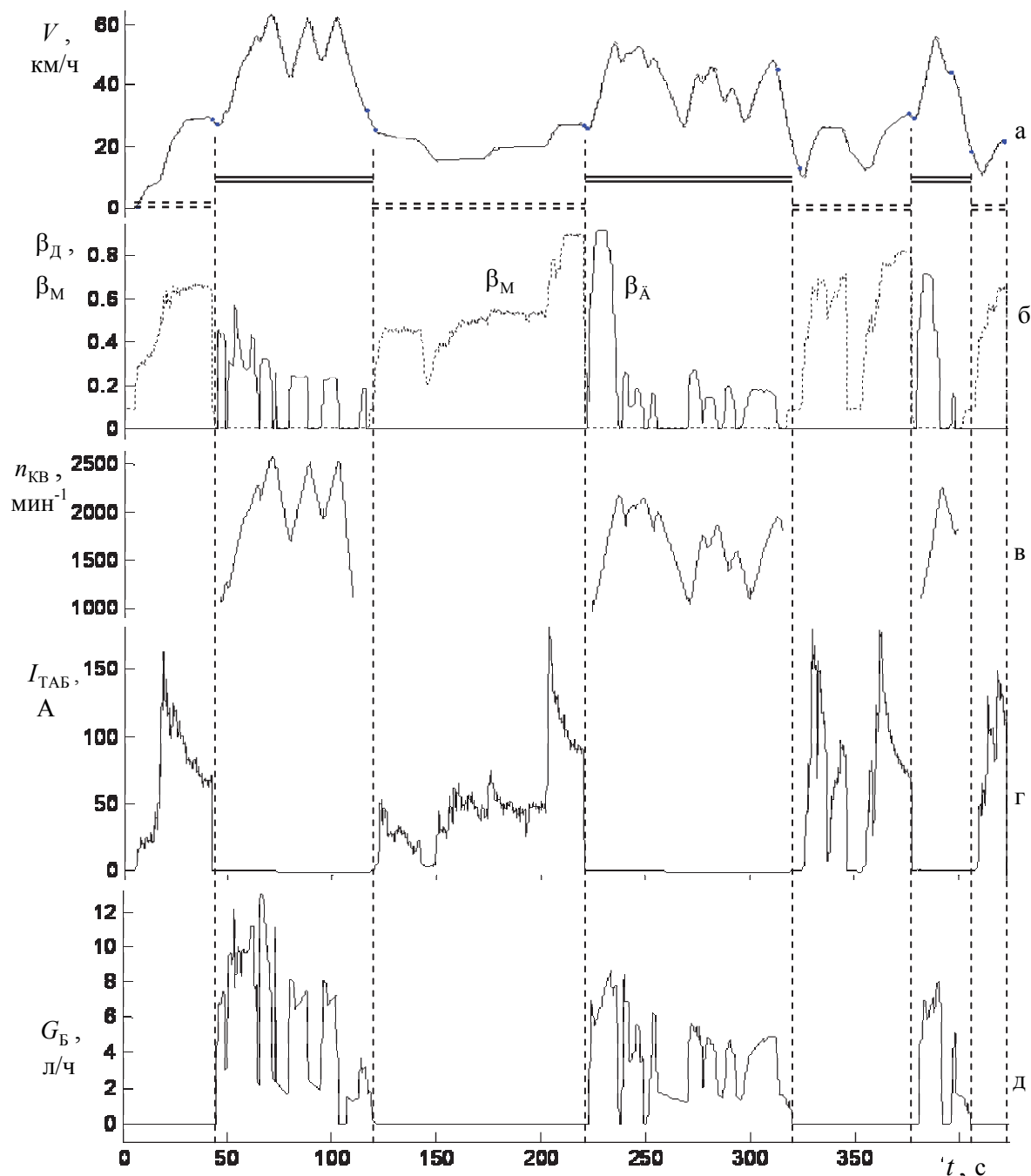


Рис. 1. Изменение основных параметров, характеризующих функционирование ГСУ, в процессе испытаний: а – скорость автомобиля; б – управляющие воздействия ДВС и ВЭД; в – частота вращения коленчатого вала ДВС; г – ток разряда тяговой аккумуляторной батареи; д – расчётный часовой расход бензина

На рис. 2 приведены характеристики изменения тягово-скоростного режима ДВС в процессе моделирования дорожных испытаний (виртуального эксперимента).

Видно, что скоростной режим ДВС сосредоточен вблизи области минимального удельного расхода топлива. При этом крутящий момент ДВС может существенно отличаться от оптимального значения. Это вызвано от-

сутствием режима параллельного включения ДВС и ВЭД, которое свойственно выбранной схеме трансмиссии автомобиля.

На рис. 3 представлены диаграммы управляющих воздействий ДВС, ВЭД и системы гидравлического торможения, а также приведенные к оси вращения ведущих колёс моменты сил, действующих в системе, и часовой расход топлива ДВС.

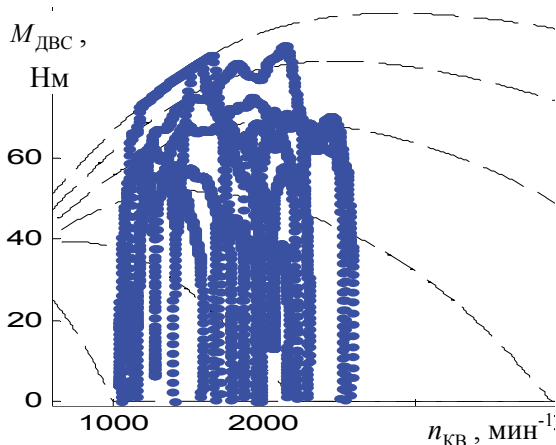


Рис. 2. Тягово-скоростные режимы ДВС в процессе испытаний

Сравнивая зависимости для часового расхода топлива ДВС, полученные экспериментально и в результате моделирования, можно отме-

тить достаточную точность математической модели.

Математическое ожидание ошибки моделирования составляет около 4 %. Ошибка обусловлена, в основном, погрешностями параметрической идентификации модели.

На рис. 4 приведены диаграммы изменения показателей экологической безопасности, полученные по результатам анализа математической модели гибридного автомобиля.

На рассмотренном участке пути (длительность 440 с) удельный расход топлива составил 0,05 л/км (0,0381 кг/км), удельная эмиссия окислов азота NO_x – 0,0845 г/км, оксида углерода CO – 1,813 г/км и углеводородов CH – 0,0910 г/км.

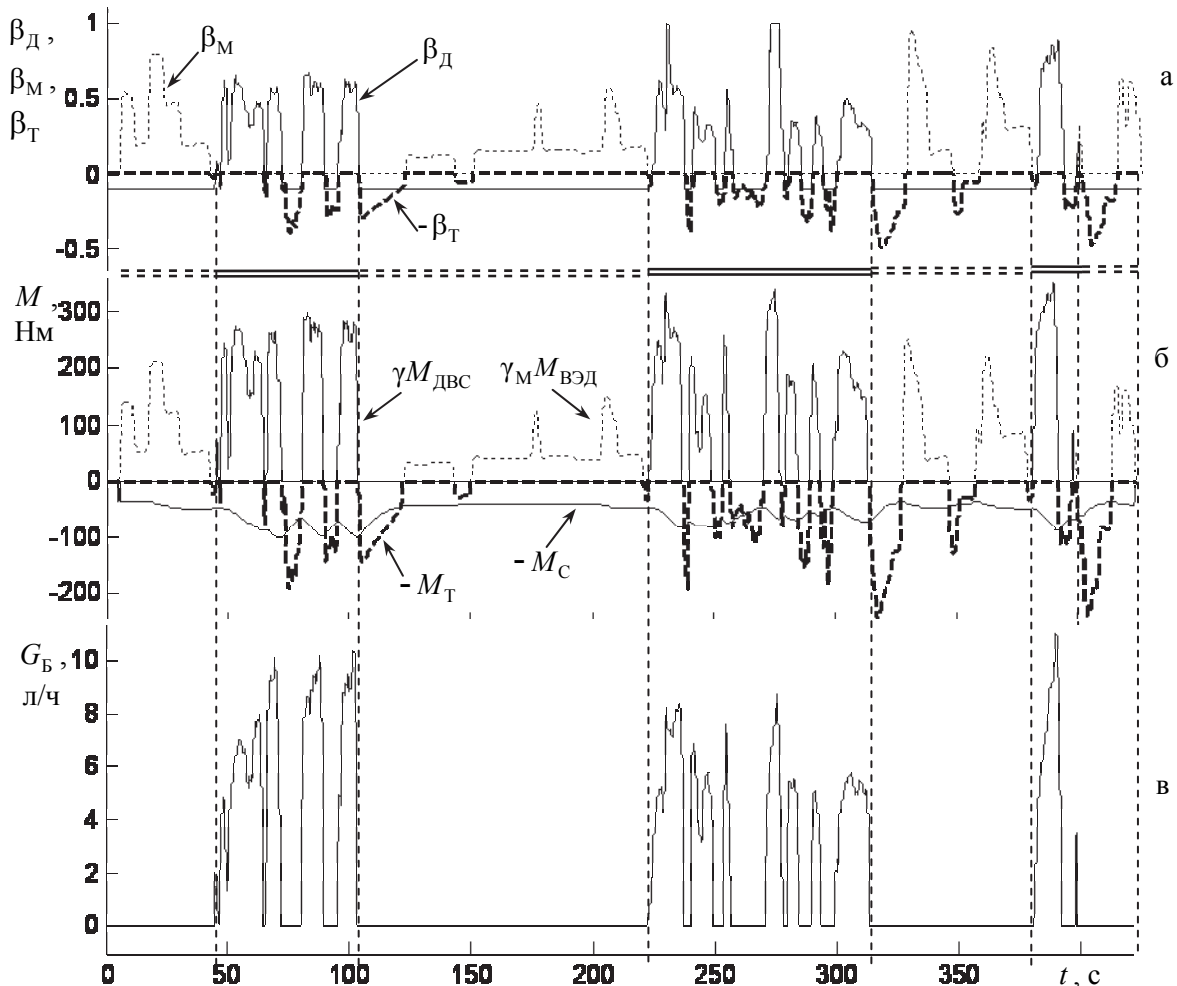


Рис. 3. Изменение основных параметров модели ГСУ: а – управляющие воздействия ДВС, ВЭД и системы гидравлического торможения; б – моменты вращения ДВС и ВЭД, приведенные к оси вращения ведущих колёс, тормозной момент системы гидравлического торможения и момент сил сопротивления движению; в – часовой расход бензина

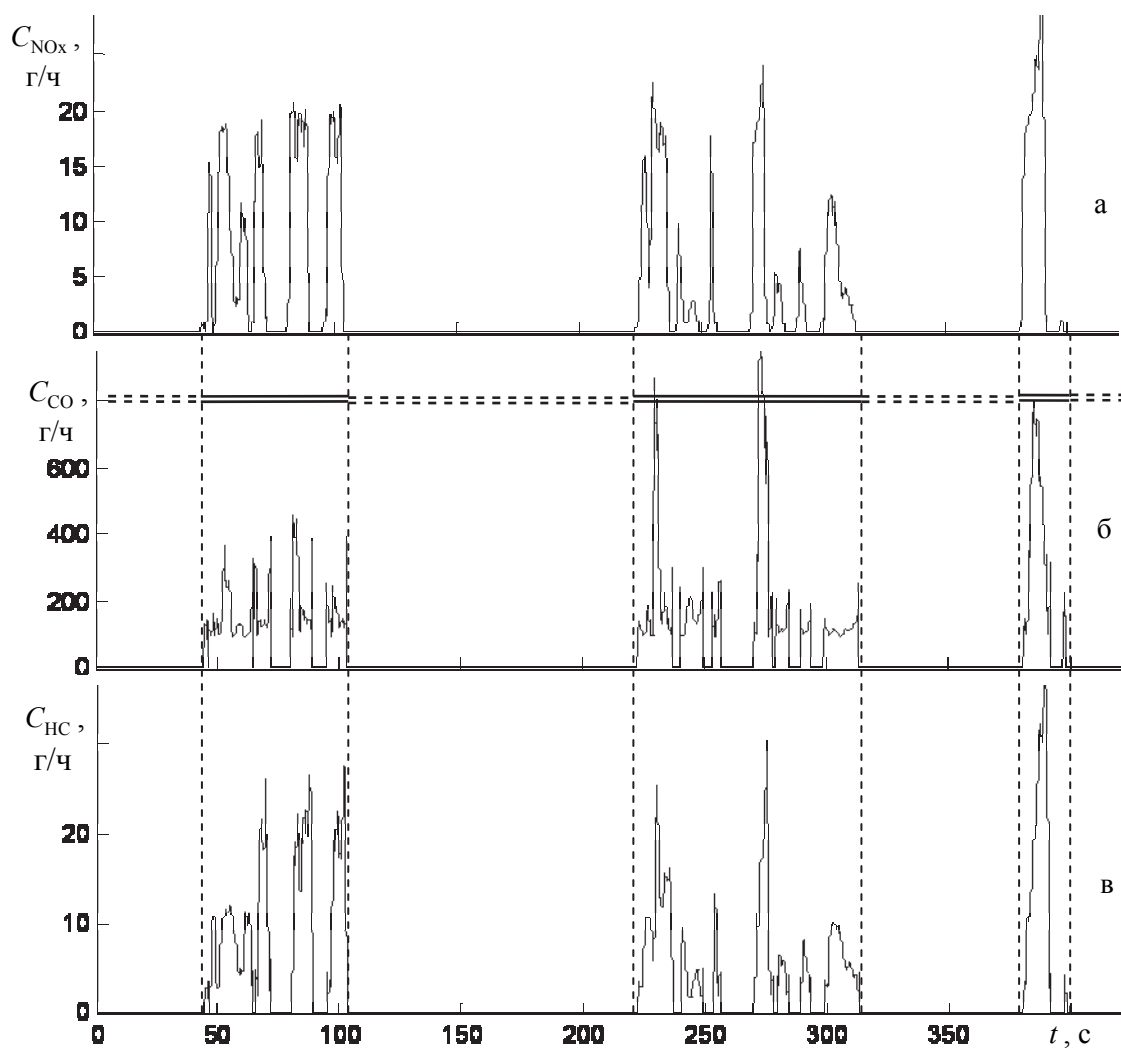


Рис. 4. Изменение часовой эмиссии токсичных компонентов в отработавших газах ДВС: а – окислов азота; б – оксида углерода; в – углеводородов

В процессе испытаний гибридного автомобиля в городском цикле движения расход бензина составил около 4 л/100 км, что примерно в три раза меньше, чем у базовой модели. При этом полный заряд тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ) обеспечивает пробег автомобиля по городу в гибридном режиме около 44 км.

Расход электроэнергии для такого режима составляет приблизительно 0,05 кВт·ч/км. Пробег транспортного средства в режиме электромобиля составляет около 16 км. Наряду с рекуперативной подзарядкой ТАБ на борту автомобиля имеется зарядное устройство (подзаряжаемый гибрид). Время полной зарядки ТАБ от внешнего источника энергии не превышает 12 ч.

При высокой плотности транспортного потока и движении в пробках тягово-скоростной режим автомобиля обеспечивается в основном за счет электротяги без включения ДВС. При этом рычаг коробки передач находится в нейтральном положении, и автомобиль с механической коробкой передач приобретает все преимущества автомобиля с автоматической коробкой переключения передач.

Выводы

Разработанный измерительный комплекс, в ходе ездовых испытаний, подтвердил свои проектные эксплуатационные и метрологические характеристики.

Для исследования параметров, характеризующих функционирование ГСУ и её системы управления, целесообразно применять моде-

лирование движения гибридного автомобиля с использованием разработанного математического обеспечения.

Точность моделирования в значительной степени определяется качеством параметрической идентификации математических моделей автомобиля и агрегатов ГСУ, а также точностью представления закона управления.

Математическое ожидание ошибки моделирования показателей экономичности и экологической безопасности гибридного автомобиля составляет около 4 %.

Литература

1. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Сериков, В.Я. Двадненко. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
2. Бажинов А.В. Повышение экономичности и экологической безопасности транспортных средств с гибридными силовыми установками / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, С.А. Сериков // Наукові нотатки (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»): міжвуз. зб. наук. пр. Луцького нац. техн. ун-ту. – 2010. – Вип. 28. – С. 40–45.
3. Бажинов А.В. Система управления гибридной силовой установки с тяговым электроприводом на базе вентильного двигателя с электромагнитным возбуждением / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, С.А. Сериков // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2010. – №7 (149). – С. 61–66.
4. Двадненко В.Я. Двухзоновое управление тяговым вентильным электроприводом гибридного автомобиля / В.Я. Двадненко, С.А. Сериков // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. – 2011. – №1 (23). – С. 23–28.
5. Сериков С.А. Оптимизация управления перераспределением мощности между агрегатами гибридной силовой установки / С.А. Сериков // Автоматика 2008: доклады XV международной конференции по автоматическому управлению, 23–26 сентября 2008 г. – Одесса: ОНМА. – С. 525–528.
6. Сериков С.А. Информационно-измерительный комплекс для исследования рабочих процессов силовой установки гибридного автомобиля / С.А. Сериков, В.Я. Двадненко, Ю.Н. Борошенко, А.Н. Сергиенко // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. – 2013. – Вип. 143. – С. 122–126.

Рецензент: А.Н. Врублевский, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 11 марта 2014 г.