

УДК 629.113.066

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

**С.А. Сериков, к.т.н, доцент, В.Я. Двадненко, к.т.н, доцент,  
Ю.Н. Бороденко, к. ф-м. н, доцент, Е.А. Серикова, к.т.н, доцент, ХНАДУ**

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

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

## АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ

**А.С. Сєріков, к.т.н, доцент, В.Я. Двадненко, к.т.н, доцент,  
Ю.М. Бороденко, к. ф-м. н, доцент, А.А. Сєрікова, к.т.н, доцент, ХНАДУ**

***Анотація.** Надано результати випробувань автомобіля з гібридною силовою установкою. Дана оцінка тягово-швидкісних характеристик, енергетичних та екологічних показників гібридного автомобіля у їздовому циклі.*

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

## ANALYS OF RESULTS TESTING OF EXPERIMENTAL HYBRID CAR

**S. Serikov, assistant professor, cand. eng. sc., V. Dvadnenko, assistant professor,  
cand. eng. sc., Y. Borodenko, assistant professor, cand. physic.-math. sc.,  
O. Serikova, assistant professor, cand. eng. sc., KhNAHU**

***Abstract.** The results of testing of car with hybrid power setting are present. Draft-speed characteristics, power and ecological indicator of hybrid car in transportation cycle are considered.*

***Keywords:** hybrid power setting, transportation cycle, brushless electric motor, storage batteries, information-measuring complex.*

### Введение

Перспективным направлением решения задачи повышения экологической безопасности и топливной экономичности автотранспортных средств в настоящее время считается применение гибридных силовых установок (ГСУ) [1]. Эффективность работы ГСУ в значительной степени определяется характеристиками ее системы управления, которая

перераспределяет потоки мощности между ходовой частью автомобиля, основным двигателем, вспомогательным двигателем и контуром рекуперации энергии.

### Аналіз публікацій

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

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 (далее БИК) [6]. Комплекс включает: блок системы управления ГСУ со штатными (системы управления ДВС) и дополнительными измерительными датчиками; блок преобразования и регистрации сигналов; персональный компьютер; адаптер RS-232 / USB; адаптер линии связи K-line / USB. (рис. 1).



Рис. 1. Бортовой измерительный комплекс

БИК обеспечивает сбор, регистрацию, первичную обработку и сохранение в памяти персонального компьютера необходимых параметров ГСУ при движении автомобиля.

### Цель исследований и постановка задачи

Идентифицировать режимы подачи и значения управляющих воздействий для оптимизации процессов управления силовыми агрегатами и отладки программного обеспечения системы управления ГСУ.

Произвести количественную оценку тягово-скоростных характеристик, энергетических и экологических показателей гибридного автомобиля в ездовом цикле.

### Результаты исследований

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

Режимы проведения ездовых испытаний иллюстрируют гистограммы, показанные на рис. 2. На рис. 2, а отмечены отрезки времени, когда автомобиль приводится в движение от ДВЗ (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 при высокой плотности транспортного потока и движении в пробках.

На скоростях, больших 30÷40 км/ч, 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.

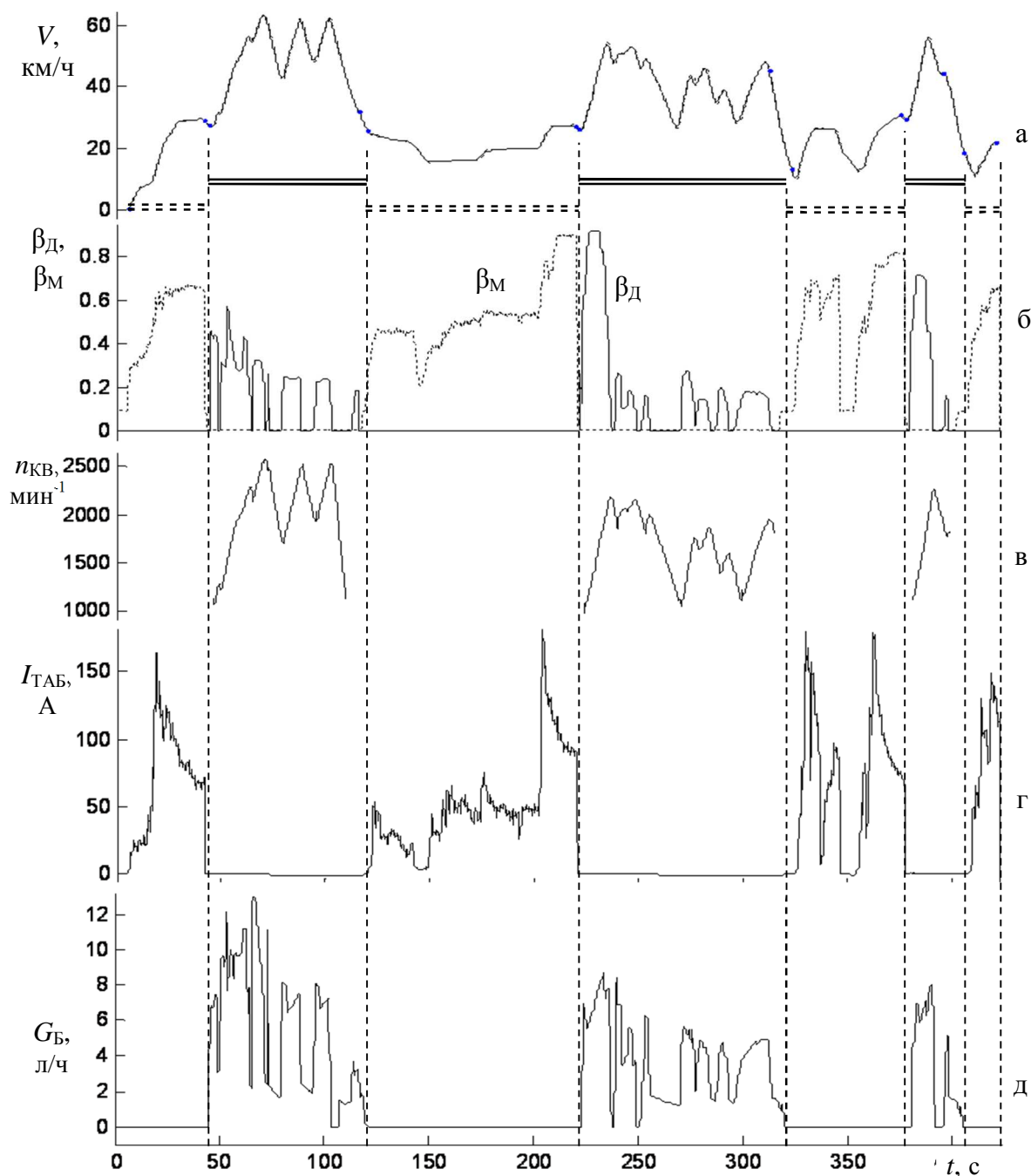


Рис. 2. Изменение основных параметров, характеризующих функционирование ГСУ, в процессе испытаний: а – скорость автомобиля; б – управляющие воздействия ДВС и ВЭД; в – частота вращения коленчатого вала ДВС; г – ток разряда тяговой аккумуляторной батареи; д – расчётный часовой расход бензина

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 (см. рис. 2, а).

Моделирование осуществлялось для автомобиля массой  $m_A = 1030$  кг при следующих передаточных отношениях трансмиссии:  $\gamma_{ГП} = 4,133$ ;  $\gamma_1 = 3,454$ ;  $\gamma_2 = 2,056$ ;  $\gamma_3 = 1,33$ ;  $\gamma_4 = 0,969$ ;  $\gamma_5 = 0,828$ ;  $\gamma_M = 2\gamma_{ГП}$ . Период дискретизации сигналов составлял  $T_d = 35,5$  мс. На рис. 3 приведено изменение тягово-скоростного режима ДВС в процессе моделирования дорожных испытаний

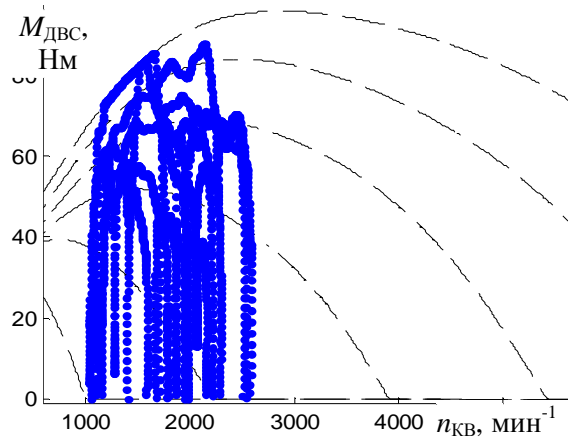


Рис. 3. Тягово-скоростные режимы ДВС в процессе испытаний

Видно, что скоростной режим концентрируется вблизи области минимального удельного расхода топлива. При этом крутящий момент ДВС может существенно отличаться от оптимального. Это вызвано отсутствием режима параллельного включения ДВС и ВЭД, которое свойственно данной схеме трансмиссии.

На рис. 4 представлены гистограммы управляющих воздействий ДВС, ВЭД и системы гидравлического торможения, а также приведенные к оси вращения ведущих колёс моменты сил, действующие в системе, и часовой расход топлива ДВС.

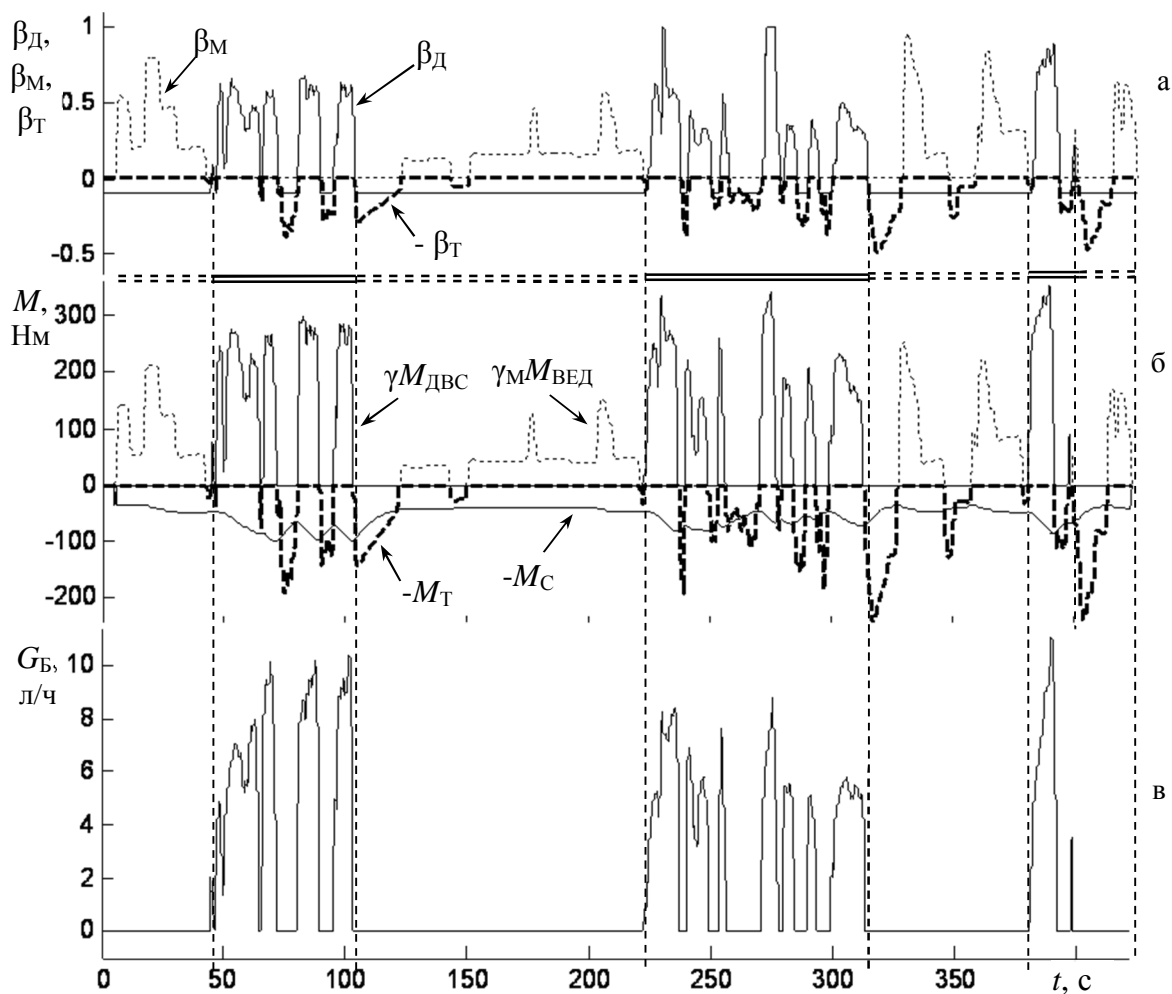


Рис. 4. Изменение основных параметров модели ГСУ: а – управляющие воздействия ДВС, ВЭД и системы гидравлического торможения; б – моменты вращения ДВС и ВЭД, приведенные к оси вращения ведущих колёс, тормозной момент системы гидравлического торможения и момент сил сопротивления движению; в – часовой расход бензина

Сравнивая зависимости для часового расхода топлива ДВС, полученные экспериментально и в результате моделирования, можно отметить достаточную точность математической

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

На рис. 5 приведены гистограммы изменений показателей экологической безопасности полученных из математической модели гибридного автомобиля и в ходе проведенных испытаний (расхождение до 4%).

На рассмотренном участке пути удельный расход топлива составил 0,0381 кг/км, удельная эмиссия окислов азота  $\text{NO}_x$  – 0,0845 г/км, оксида углерода  $\text{CO}$  – 1,813 г/км и углеводородов  $\text{CH}$  – 0,0910 г/км.

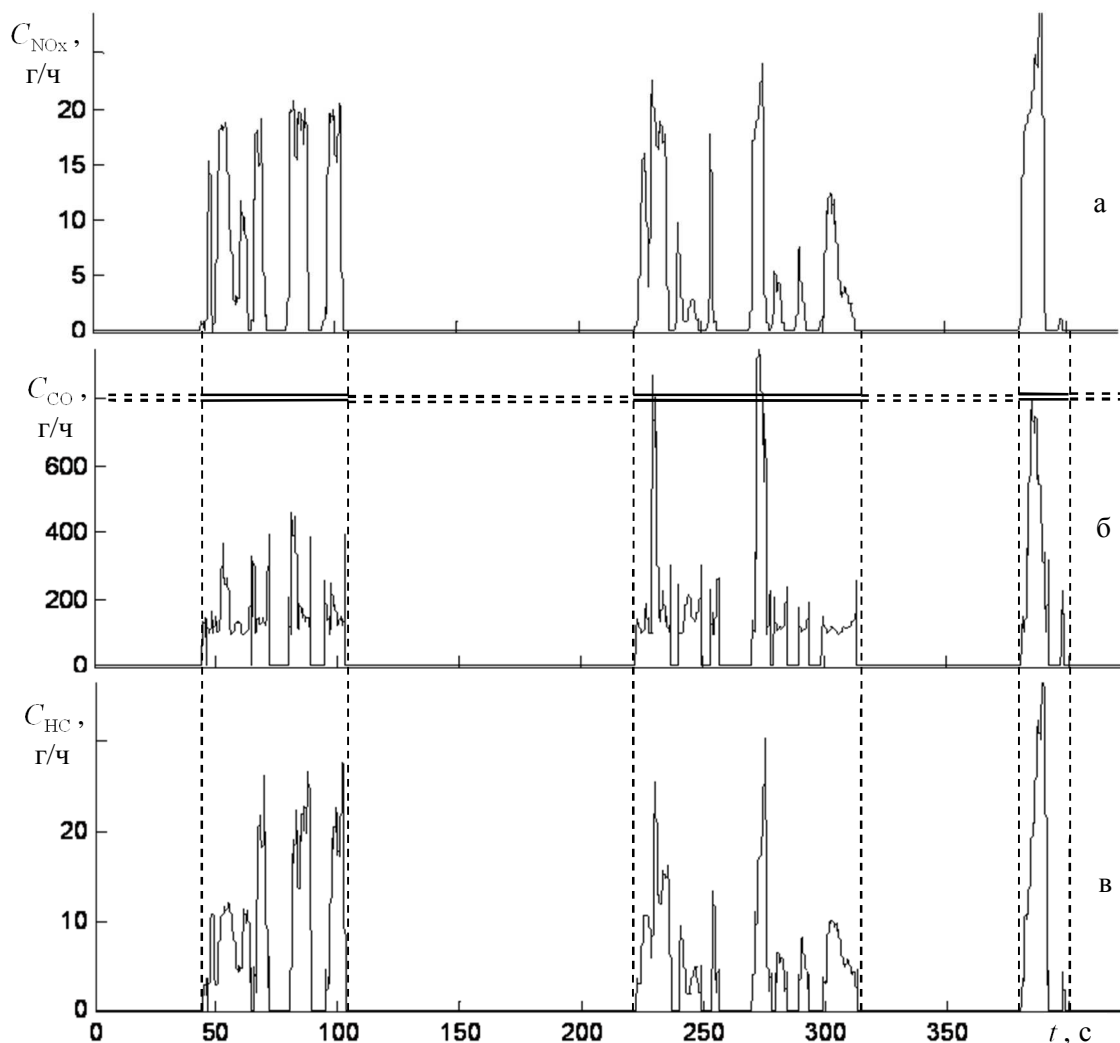


Рис. 5. Изменение основных параметров модели ГСУ: а – часовая эмиссия окислов азота; б – часовая эмиссия оксида углерода; в – часовая эмиссия углеводородов

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 полного заряда тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ) является достаточным для пробега автомобиля по городу в гибридном режиме около 44 км.

Расход электроэнергии для такого режима приблизительно 0,05 кВт·ч/км. Пробег в режиме электромобиля составляет около 16 км. Время полной зарядки ТАБ – 8÷12 ч.

При высокой плотности транспортного пото-

ка и движении в пробках тягово-скоростной режим 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.

### 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 моделирование 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. Серіков, В.Я. Двадненко. – Харків: 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 // Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство») 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. 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. Бороденко, А.Н. Сергиенко // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. – 2013. – вип. 143. – С. 122 – 126.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 25 сентября 2013 г.