

ГИБРИДНЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

П. Д. Балакин

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Проведен анализ энергетических и технических возможностей комбинаций гибридной энергоустановки на примере транспортной машины. Показана перспективность комбинации двигателя внутреннего сгорания и инерционного аккумулятора, исполненного супермаховиком. Приведены инженерный расчет параметров супермаховика и особенности динамики маховичного привода.

Ключевые слова: транспортная машина, экологические проблемы, рекуперация энергии, гибридная энергоустановка, аккумулятор энергии, инерционный привод, супермаховик, параметры маховика.

Введение

Как известно, у подавляющего большинства транспортных машин энергоустановка построена на базе традиционного теплового двигателя внутреннего сгорания (ДВС); конструктивное исключение составляют газотурбинные двигатели (ГТД) авиации, кораблестроения, тяжелых карьерных самосвалов и другой уникальной техники, а также электротранспорт. При преобразовании видов энергии имеет место несимметрия преобразования. Если кинетическая энергия преобразуется в тепловую на 100%, то обратное преобразование возможно максимум на 40%. Все тепловые двигатели для получения кинетической энергии используют процесс окисления (горения) углеводородного топлива, при этом продукты горения химически активны, их полная нейтрализация невозможна, а частичная — затратна, поэтому проблема сохранения безопасной среды обитания становится все более актуальной, требующей разрешения на всех этапах создания и эксплуатации объектов техногенной сферы, а транспортных машин в особенности [1, 2].

Кроме того, повышение количества и удельной мощности транспортных машин, предпочтения в пассажирских перевозках транспорту личного пользования приводят к запредельному уровню концентрации вредных для здоровья веществ в атмосфере городов, транспортные магистрали которых изначально не были рассчитаны на такой объем прохождения по ним техники.

Для гармонизации взаимоотношений всех участников дорожного движения разработаны правила, ограничивающие скорости движения, устанавливающие приоритеты, выделение пешеходных зон, переходов и др., что дополнительно обуславливает нестационарный переходный режим работы транспортных машин с разгоном, торможением, остановками. В этих условиях тепловые процессы энергоустановок машин не оптимальны, а доля вредных выбросов увеличивается.

Кроме экологической проблемы многорежимная эксплуатация энергоустановок транспортных машин приводит к безвозвратным энергетиче-

ским потерям, поскольку кинетическая энергия движения машины, агрегатов и узлов машины при торможении, как правило, преобразуется в тепловую, рассеивается, уменьшая средний КПД двигателя при одновременном увеличении расхода топлива в городском цикле эксплуатации. В этой связи актуальным является решение проблемы рекуперации энергии торможения транспортных машин [3–6]. Так, один из вариантов технического решения этой проблемы реализован в метропоездах, силовая установка которых построена на применении электрических мотор-генераторов, но импульсная отдача электроэнергии ухудшает качество последней в цепи питания метрополитена.

В последнее время в транспортном машиностроении материализуется идея создания гибридных энергоустановок, сочетающих комбинацию ДВС и электрического привода от аккумуляторов [7–10]. Сама идея далеко не нова, отработана и широко применяется, например, в приводах дизель-электрических подводных лодок. Применительно к автомобильному транспорту ведущими концернами предлагаются серийные образцы легковых автомобилей с электроприводом и автономным ходом до 200 км, а также комбинированным приводом с ДВС малой мощности, используемым как для движения, так и для подзарядки аккумуляторных батарей. Создание гибридных энергоустановок является, безусловно, перспективным направлением развития транспортных машин, о чем свидетельствуют многие публикации, например [11–14], но имеет смысл проанализировать по критериям удельной энергоемкости и удельной мощности потенциальные составляющие гибрида с целью определения наиболее эффективных, технически реализуемых комбинаций таких энергоустановок.

Постановка задачи. Анализ энергетических и технических возможностей потенциальных составляющих гибридной энергоустановки

Для корректного сравнения возможностей составляющих гибридной энергоустановки сфор-

мулируем единое техническое задание (ТЗ) на проектирование транспортной машины, например, автомобиль весом в одну тонну должен проехать 100 км по дороге без подъемов (спусков) со скоростью (60–80) км/час.

В этом случае экспериментально определенная буксированием автомобиля сила P тяги составит $P = 250$ Н, а работа A этой силы на 100 км пути будет равна $A = 25000$ Н·км, или 25 мегаджоулей ($25 \cdot 10^6$) Дж. Расход топлива для машины, оснащенной ДВС, в пределах (6–10) литров, что по весу близко к значению (5–10) кг [7].

Если в качестве энергоустановки использовать гравитационный аккумулятор (гирию), то для его зарядки при принятом ТЗ необходимо гирию весом в 2,5 тонны поднять на высоту 1 км либо гирию весом в 2,5 тысячи тонн поднять на высоту 1 м — оба варианта технически нереализуемы.

При использовании в аккумуляторе потенциальной энергии упругой деформации следует принимать в расчет, что 1 кг массы стальной пружины способен накопить только 0,5 кДж энергии, следовательно, для проектируемой по ТЗ транспортной машины пружинный аккумулятор будет иметь массу 50 тонн. Аккумулятор из натурального каучука при допустимом растяжении эластомера в 4 раза способен накопить 30 кДж на 1 кг массы и необходимые 25 мегаджоулей реализуют 900 кг эластомера, но одновременно возникнет проблема размещения аккумулятора. Жгут сечением в квадратный дециметр должен будет, например, иметь исходную длину 100 метров, а при растяжении его длина достигнет 400 метров. Если такой жгут перекидывать через блоки, то трение практически поглотит накопленную энергию, кроме того, многократно складывая жгут, мы также многократно складываем его натяжение по количеству перегибов и суммарная сила такого заряженного аккумулятора «сложит» любой автомобильный кузов.

Аккумулятор, построенный на энергии сжатого воздуха с давлением 500 атм (50 МПа), что очень много, потребует сжатия 1 м³ воздуха весом 1 кг в 500 раз и этот кубометр можно поместить в баллоне емкостью 2 литра. Известно, что одна тысячная кубометра (литр воздуха) при 50 Мпа способна содержать 50 кДж энергии и для получения 25 МДж необходимо: $25000000 : 50000 : 2 = 250$ баллонов и, если вес двухлитрового баллона принять хотя бы 5 кг, то пневмоаккумулятор будет весить 1,25 тонны.

При расширении любой газ охлаждается, что породит проблему удаления конденсата либо использования в качестве рабочего тела жидкости разделенной от сжатого газа герметичной эластичной перегородкой, это значительно усложнит конструкцию пневмогидравлического привода транспортной машины.

В составе гибридной энергоустановки принципиально возможно использовать тепловой аккумулятор с внешним разогревом теплоноситель массы. Известно, что каждый килограмм стали или меди при остывании на $\Delta t = 100^\circ\text{C}$ способен выделить 10 килокалорий. Каждая килокалория теплоты содержит 4,2 кДж энергии. Для получения необходимых $25 \cdot 10^6$ Дж энергии необходимо создать тепловой аккумулятор массой $25 \cdot 10^6 : 42 \cdot 10^3 = 600$ кг. Но, как было отме-

чено выше, из-за несимметрии преобразования тепловой энергии в кинетическую тепловой аккумулятор имеет КПД не более 40% и даже двигатель Стирлинга с подобным тепловым накопителем образует силовой агрегат массой около трех тонн.

Роль аккумулятора в гибридной энергоустановке может выполнять электрический конденсатор. Предельная плотность его энергии 3,6 кДж на 1 кг веса, следовательно, для исполнения принятых ТЗ показателей конденсатор будет иметь вес $25 \cdot 10^6 : 3,6 \cdot 10^3 = 6944$ кг, кроме того, необходимо будет решить техническую задачу дозированной разрядки множества составных элементов конденсатора по специальной программе.

В настоящее время практически реализованы в приводе легковых автомобилей химические (гальванические) аккумуляторы. В порядке возрастания энерговооруженности используют свинцово-кислотные; щелочные никель-кадмиевые; серебряно-цинковые; горячие (сера-натрий) или (хлор-литий); медно-литиевые; фтористо-никелевые-литиевые и др.

Гальванические аккумуляторы используют как в качестве составного элемента гибрида в сочетании с ДВС, так и в чисто электромобилях, являющихся, по сути, электрокарами. Однако электроаккумуляторы даже с большой плотностью энергии имеют небольшую плотность отдаваемой мощности, зависимой от скорости протекания в них химической реакции.

Так, например, в пиковом режиме обычный свинцово-кислотный аккумулятор весом 20 кг способен отдавать ток (600–800) А и, при емкости батареи 55 А·ч, полный разряд батареи произойдет через четыре минуты при предельно развиваемой мощности 9 кВт.

В настоящее время на Ульяновском автозаводе проходит испытание гибридная энергоустановка, адаптированная к грузопассажирскому варианту автомобиля «УАЗ Патриот». Машина дополнительно снабжена рекуператором энергии с использованием зарядного электрического генератора, аккумуляторные батареи размещены на грузовой платформе машины. При эксплуатации чисто электрического привода отмечена бесшумность его работы, но динамика движения машины заметно снижена, а пробег составляет пока 50 км.

Весьма перспективными являются кислородно-водородные топливные элементы и, если учитывать только массу газов, можно получить плотность энергии около 1 МДж на 1 кг массы, но устройство агрегата сложно и громоздко, с учетом его массы плотность энергии будет не выше, чем у электроаккумуляторов, а именно около 50 Вт на 1 кг массы устройства.

Наконец, проанализируем энергетические и технические возможности маховичного (инерционного) привода, как основного, так и в составе гибридной энергоустановки транспортной машины.

В настоящее время созданы супермаховики, ободы которых конструктивно выполнены навитой лентой или тросом; применяемые материалы: сталь, титан, кевлар, дюралюминий, кварц, стекловолокно, графитовое волокно и др. Достигнута рабочая частота вращения $n = 30000$ об/мин,

окружная скорость периферии обода более 500 м/с.

Маховик удерживается и центрируется магнитным подвесом, подшипники заимствованы от газовых турбин (графитовые скользящие и двойные качения), для уплотнений вакуумной камеры использована магнитная жидкость. В целом, это высокотехнологичный и дорогой агрегат. Маховик в свободном вращении, как правило, может находиться в течение 40 суток, опытные экземпляры свободно вращаются до десяти лет. Особое отличие маховичного привода от остальных — кинетическая энергия маховика преобразуется в кинетическую энергию транспортной машины с высоким КПД этого преобразования. Но даже если маховик встроен как элемент электро- или гидропривода, то при таком двойном преобразовании энергии КПД может достигать значений $\eta = 0,75$, что неплохо.

Маховичный привод способен как в подзарядке от ДВС на ходу, так и к рекуперации энергии торможения транспортной машины.

Теория

Приведем алгоритм и пример инженерного расчета параметров супермаховика, способного удовлетворить требованиям принятого нами технического задания на проект транспортной машины.

Ограничим предельную окружную скорость центра масс обода $V = 750$ м/с, средний радиус обода маховика $R_{cp} = 0,3$ м, тогда угловая скорость его вращения будет $\omega = V / R_{cp} = \frac{750 \text{ м/с}}{0,3 \text{ м}} = 2500 \frac{1}{\text{с}}$ или 25000 об/мин, что вполне достижимо.

Поскольку запас кинетической энергии T должен быть $25 \cdot 10^6$ Дж, а $T = \frac{1}{2} J_M \omega^2$, где J_M — момент инерции супермаховика, то

$$J_M = \frac{2T}{\omega^2} = \frac{50 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{625 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{с}^2}} = 8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Поскольку

$$J_M = \frac{G A_{cp}^2}{4g}, \quad (1)$$

где G — вес маховика, $A_{cp} = 2R_{cp}$ — средний диаметр обода, g — ускорение свободного падения, то

$$G = \frac{4gJ_M}{A_{cp}^2} = \frac{4 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2}{0,36 \text{ м}^2} = 871 \text{ Н} = 87,1 \text{ кг},$$

что также вполне удовлетворительно.

Считаем, что вес маховика сосредоточен в его ободе, тогда

$$G = a \cdot b \pi A_{cp} \gamma, \quad (2)$$

где a и b — размеры поперечного сечения обода супермаховика; γ — удельный вес материала,

если материал — сталь, то $\gamma = 76000$ Н/м³, размеры поперечного сечения обода будут такими:

$$a \cdot b = \frac{G}{\pi A_{cp} \gamma} = \frac{871 \text{ Н}}{3,14 \cdot 0,6 \text{ м} \cdot 76000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}} = 0,006 \text{ м}^2.$$

При $a = b$ получим $a = b = 0,077$ м, или 77 мм.

Расчетные параметры супермаховика в целом удовлетворяют основным критериям принятого нами технического задания на проектирование транспортной машины.

Динамика маховичного привода будет иметь особенности, заключающиеся в том, что момент инерции супермаховика J_M будет доминирующим в составе общего приведенного к валу супермаховика момента инерции J_{np} .

Уравнение Лагранжа для приведенной ротативной системы преобразуется к виду:

$$J_{np} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_g^{np} - M_c^{np}, \quad (3)$$

где M_g^{np} и M_c^{np} — приведенные к валу супермаховика моменты движущих сил и сил сопротивления.

Маховичный привод следует отнести к машинным системам с двигателем большой мощности, поскольку маховичный тип привода способен в кратчайшее время подать в систему силовую характеристику $M_g^{np} = M_c^{np}$, тем самым обеспечить режим установившегося стационарного движения при любом значении M_c^{np} .

В переходном режиме движения, когда возникает разность значений M_g^{np} и M_c^{np} , величина ускорения $\frac{d\omega}{dt}$ звена приведения определяется, в том числе инерционностью системы, но, в силу большой энерговооруженности привода, переходный процесс по времени будет динамичным и иметь малую длительность, что полезно при движении в городских условиях.

При аналитическом решении динамической задачи разность силовых характеристик (избыточный момент), как правило, линеаризуют. Так, если $M_g^{np} - M_c^{np} = \text{const}$ на некотором интервале времени, то $\frac{d\omega}{dt} = \text{const}$ и изменение скорости движения звена приведения на этом интервале времени будет иметь линейный характер. В том случае, когда $M_g^{np} - M_c^{np} = M_{\Sigma} = A - Bt$, т.е. зависят от времени, то, разделив переменные, получим:

$$\begin{aligned} d\omega &= \frac{1}{J_{np}} (A - Bt) dt; \\ \omega \Big|_0^{t_1} &= \frac{1}{J_{np}} \int_0^{t_1} (A - Bt) dt; \end{aligned} \quad (4)$$

изменение скорости по (4) будет носить квадратичную зависимость от времени переходного процесса.

В том случае, когда M_{Σ} линейно зависит от скорости ω , например, $M_{\Sigma} = A - B\omega$, разделение переменных приведет к зависимости:

$$t_{0-1} = J_{np} \int_0^{\omega_{уст}} \frac{d\omega}{A - B\omega},$$

его решение при известных начальных условиях будет таким:

$$\omega = \omega_{уст} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (5)$$

где $\omega_{уст}$ — установившаяся скорость после завершения переходного процесса, причем $\omega_{уст}$ достигается при $M_{\Sigma} = 0$, а по (3) это возможно при $\omega_{уст} = \frac{A}{B}$. $T = \frac{J_{np}}{B}$ — постоянная времени, физически означающая время переходного процесса до нового значения $\omega_{уст}$, при $M_{\Sigma} = const$, в представлении модели движения с постоянным ускорением в переходный период.

Обсуждение результатов

Сравнительный анализ составляющих гибридной энергетической установки показал, что для транспортной машины наиболее перспективной является комбинация ДВС с инерционным аккумулятором кинетической энергии, исполненным высокотехнологичным агрегатом, основным элементом которого является супермаховик, размещенный в вакуумной камере с применением магнитного подвеса и подшипников, конструктивно подобных опорам газовых турбин.

Эта комбинация позволяет обеспечить необходимую автономию функционирования машины, использование ДВС для движения вне населенных пунктов с одновременной подзарядкой аккумулятора и его подключением на переходных режимах движения. Полный переход на чисто инерционное движение будет востребован в зонах с высокими требованиями к экологии.

Использование инерционного аккумулятора в гибридной энергоустановке позволяет избежать преобразований видов энергии, тем самым механическими средствами достигается гармонизация компонентов мощности трансформируемой кинетической энергии, потери энергии будут минимальными и обусловленными высоким значением механического КПД.

Инерционный аккумулятор позволяет сравнительно просто рекуперировать энергию для своей подзарядки при торможении транспортной машины.

Выводы и заключение

1. Показано, что по энергетическим, экологическим и техническим критериям гибридная энергоустановка транспортной машины, состоящая из ДВС и инерционного (маховичного) аккумулятора, имеет преимущество перед другими комбинациями составляющих гибрида.

2. Инерционный аккумулятор кинетической энергии является высокотехнологичным агрегатом, технические решения которого вполне

реализуемы, безопасны в эксплуатации и уже находят приложение не только в транспортном машиностроении.

3. Приведенный алгоритм и пример инженерного расчета параметров супермаховика показывает, что инерционный аккумулятор можно исполнить агрегатом, габаритно-массовые характеристики которого удовлетворяют техническому заданию на проектирование транспортной машины.

4. Моделирование динамического поведения транспортной машины с инерционным аккумулятором кинетической энергии показывает, что такая модель подобна машинной системе с двигателем большой мощности.

Список источников

1. Соснина Е. Н., Маслеева О. В., Крюков Е. В. Сравнительная экологическая оценка установок нетрадиционной энергетики // Теплоэнергетика. 2015. № 8. С. 3–10.
2. Васильев В. Надежды экологов // Автомобильный транспорт. 2007. № 9. С. 50–55.
3. Ляшенко С. Г. Маховичный рекуператор энергии // Холодильная техника и кондиционирование. 2010. № 1. С. 31–34.
4. Соколов В. С., Красных О. В., Косторный Г. В. Использование маховиков на транспорте // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2009. № 4 (12). С. 12–16.
5. Война А. А., Бережной С. Б. Расчет удельной энергоемкости рекуператора транспортного средства, оснащенного маховиком и упругими элементами // Приводы и компоненты машин. 2016. № 3 (20). С. 5–7.
6. Пат. 2616460 Российская Федерация, МПК F 16 H 33/02. Рекуператор транспортного средства, оснащенный маховиком и упругими элементами / Война А. А. № 2015145089; заявл. 20.10.15; опубл. 17.04.17. Бюл. № 11.
7. Гулиа Н. В. Инерция. М.: Наука, 1982. 150 с.
8. Гулиа Н. В. Удивительная механика. В поисках «энергетической капсулы». М.: НЦ ЭНАС, 2006. 176 с. ISBN 5-93196-591-2/5931965912.
9. Ломанин В. В., Шабанов А. В., Шабанов А. А. К расчету баланса мощности комбинированной энергоустановки гибридного автомобиля // Журнал ААИ. 2014. № 1 (84). С. 24–27.
10. Ярославцев М. В. Определение параметров энергоустановки гибридного автомобиля моделированием процесса потребления энергии // Электротехника. 2014. № 12. С. 17–21.
11. Wu J., Wen J., Sun H. [et al.]. Research on dynamic operation characteristics of a doubly-fed induction machine with a flywheel energy storage system // Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems. 2010. Vol. 34 (3). P. 81–85. DOI:10.1109/SUPERGEN.2009.5348064.
12. Madden W., Bailey J. R., Hairr M. Topographical inertial energy simulator for hybrid electric transit vehicles // 24th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition, 2009, EVS 24. 2009. Vol. 3. P. 1616–1619.
13. Stennikov V., Penkovsky A., Postnikov I. Hybrid power source based on heat and wind power plants // MATEC Web of Conferences. Vol. 212. 2018. 02002. DOI: 10.1051/mateconf/201821202002.
14. Naumov V. A., Terentev A. N. The coordination modes of the engine in a hybrid power plant // The History of Land Transport. 2017. No. 3 (1). P. 51–58.

БАЛАКИН Павел Дмитриевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Машиноведение».

SPIN-код: 5494-0218

AuthorID (РИНЦ): 267798

AuthorID (SCOPUS): 57191041281

Адрес для переписки: tmm@omgtu.ru

Для цитирования

Балакин П. Д. Гибридные энергоустановки транспортных машин // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2019. Т. 3, № 1. С. 9–14. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-1-9-14.

Статья поступила в редакцию 20.02.2019 г.

© П. Д. Балакин

HYBRID POWER PLANT TRANSPORT VEHICLES

P. D. Balakin

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

The analysis of energy and technical capabilities of the hybrid power plant combinations on the example of a transport vehicle. The perspectivity of a combination of an internal combustion engine and an inertial battery, performed by a super-flywheel, is shown. An engineering calculation of the parameters of the super flywheel and the dynamics of the flywheel drive is given.

Keywords: hybrid power plant, energy battery, super flywheel.

References

1. Sosnina E. N., Masleyeva O. V., Kryukov E. V. Sravnitel'naya ekologicheskaya otsenka ustanovok netraditsionnoy energetiki [Comparative environmental assessment of unconventional power plants] // *Teploenergetika. Teploenergetika*. 2015. No. 8. P. 3–10. (In Russ.).
2. Vasil'yev V. Nadezhdy ekologov [Hopes of environmentalists] // *Avtomobil'nyy transport. Road Transport*. 2007. No. 9. P. 50–55. (In Russ.).
3. Lyashenko S. G. Makhovichnyy rekuperator energii [A flywheel energy recuperator] // *Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovaniye. Refrigeration and Air Conditioning*. 2010. No. 1. P. 31–34. (In Russ.).
4. Sokolov V. S., Krasnykh O. V., Kostornyy G. V. Ispol'zovaniye makhovikov na transporte [The using of flywheels in transport] // *Uchenyye zapiski. Elektronnyy nauchnyy zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta. The Journal Scientific Notes*. 2009. No. 4 (12). P. 12–16. (In Russ.).
5. Voyna A. A., Berezhnoy S. B. Raschet udel'noy energoyemkosti rekuperatora transportnogo sredstva, osnashchennogo makhovikom i uprugimi elementami [Calculation of specific energy intensity of a vehicle heat exchanger equipped with a flywheel and elastic elements] // *Privody i komponenty mashin. Drives and Machine Components*. 2016. No. 3 (20). P. 5–7. (In Russ.).
6. Patent 2616460 Russian Federation, IPC F 16 H 33/02. Rekuperator transportnogo sredstva, osnashchenny makhovikom i uprugimi elementami [A vehicle recuperator equipped with a flywheel and elastic elements] / Voyna A. A. No. 2015145089. (In Russ.).
7. Gulia N. V. Inertsia [Inertia]. Moscow: Nauka Publ., 1982. 150 p. (In Russ.).
8. Gulia N. V. Udivitel'naya mekhanika. V poiskakh «energeticheskoy kapsuly» [Amazing mechanics: in search of an «Energy Capsule»]. Moscow: NTS ENAS Publ., 2006. 176 p. (In Russ.).
9. Lomanin V. V., Shabanov A. V., Shabanov A. A. K raschetu balansa moshchnosti kombinirovannoy energoustanovki gibridnogo avtomobilya [On the calculation of the balance of power combined power plant hybrid car] // *Zhurnal AAI. Zurnal AAI*. 2014. No. 1 (84). P. 24–27. (In Russ.).
10. Yaroslavtsev M. V. Opredeleniye parametrov energoustanovki gibridnogo avtomobilya modelirovaniyem protsessa potrebleniya energii [Determination of parameters of a hybrid car powertrain by modeling of the energy consumption process] // *Elektrotekhnika. Electrical Engineering*. 2014. No. 12. P. 17–21. (In Russ.).
11. Wu J., Wen J., Sun H. [et al.]. Research on dynamic operation characteristics of a doubly-fed induction machine with a flywheel energy storage system // *Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems*. 2010. Vol. 34 (3). P. 81–85. DOI:10.1109/SUPERGEN.2009.5348064. (In Engl.).
12. Madden W., Bailey J. R., Hairr M. Topographical inertial energy simulator for hybrid electric transit vehicles // 24th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition, 2009, EVS 24. 2009. Vol. 3. P. 1616–1619. (In Engl.).
13. Stennikov V., Penkovsky A., Postnikov I. Hybrid power source based on heat and wind power plants // *MATEC Web of Conferences*. Vol. 212. 2018. 02002. DOI: 10.1051/mateconf/201821202002. (In Engl.).
14. Naumov V. A., Terentev A. N. The coordination modes of the engine in a hybrid power plant // *The History of Land Transport*. 2017. No. 3 (1). P. 51–58. (In Engl.).

BALAKIN Pavel Dmitriyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Machine Science Department.

SPIN-code: 5494-0218

AuthorID (RSCI): 267798

AuthorID (SCOPUS): 57191041281

Address for correspondence: tmm@omgtu.ru

For citations

Balakin P. D. Hybrid power plant transport vehicles // *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2019. Vol. 3, no. 1. P. 9–14. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-1-9-14.

Received 20 February 2019.

© P. D. Balakin