УДК 656.13

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-182-190

© Е. С. Мельцин, магистрант

© E. S. Meltsin, undergraduate

© А. А. Маркина, доцент

© A. A. Markina, Associate Professor

© А. В. Ильин, доцент

© A. V. Ilin, Associate Professor

(Уральский федеральный университет

(Ural Federal University

им. первого Президента России Б. Н. Ельцина)

named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)

E-mail: evgeny.meltsin@gmail.com, aa.akulova@urfu.ru,

E-mail: evgeny.meltsin@gmail.com, aa.akulova@urfu.ru,

uralexandr@mail.ru

uralexandr@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ КОММЕРЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

INCREASING OF THE FUEL COST-EFFECTIVENESS OF COMMERCIAL VEHICLES USING A DIESEL ELECTRIC POWERTRAIN

Вопрос повышения топливной экономичности легковых коммерческих автомобилей — один из наиболее важных, поскольку ежегодный рост стоимости топлива приводит к увеличению постоянных издержек не только транспортных компаний, но малого и среднего бизнеса. Использование гибридной силовой установки (ГСУ) позволяет уменьшить расход топлива в городском цикле, что немаловажно для коммерческих автомобилей, используемых для доставки грузов и пассажиров в черте города, особенно если речь идет о мегаполисах, где движение затруднено, а средние скорости не высоки. С одной стороны, стоимость автомобилей с ГСУ, таких как Toyota Prius, Lexus RX 450h, Ford Fusion Hybrid и других, остается достаточно высокой и не позволяет окупить автомобиль только за счет экономии топлива, с другой стороны, компоновка данных автомобилей не позволяет их использовать в качестве коммерческого транспорта для перевозки малых грузов и пассажиров, поэтому предлагается рассмотреть вариант переоборудования автомобиля с бензиновым двигателем и рассчитать возможную экономию топлива.

Ключевые слова: гибридная силовая установка, повышение топливной экономичности, топливная экономичность гибридных автомобилей, гибридный автомобиль, экономия топлива.

The issue of increasing the fuel cost effectiveness of passenger commercial vehicles is one of the most important, since the annual increase in the fuel cost leads to an increase in the fixed costs of not only transport companies, but also of small- and medium-sized businesses. Using a hybrid power train (HPT) can reduce fuel consumption in the urban cycle, which is important for commercial vehicles used to deliver goods and passengers within the city limits, especially when megacities are involved, where traffic is heavy and average speeds are not high. The cost of cars with a hybrid power train, such as Toyota Prius, Lexus RX 450h, Ford Fusion Hybrid and others, remains quite high and does not allow to pay back the car only due to fuel economy. On the other hand, the configuration of these vehicles does not allow them to be used as a commercial vehicle for transporting small loads and passengers. Therefore, it is proposed to consider the option of converting a car with a gasoline engine and calculate the possible fuel economy.

Keywords: hybrid diesel electric powertrain, increasing the fuel cost effectiveness, fuel cost effectiveness of hybrid cars, hybrid power train, fuel saving.

Введение

Ввиду постоянного роста количества автомобилей в крупных городах на дорогах увеличивается количество дорожных заторов. В связи с этим скорость движения на городских улицах

уменьшается вплоть до полной остановки, что вызывает повышенный расход топлива автомобилей. Это неминуемо приводит к росту транспортных издержек предприятий, использующих грузовые и легковые коммерческие автомобили.

Кроме того, постоянный рост цен на автомобильное топливо повышает затраты на эксплуатацию личного и коммерческого транспорта.

Одним из возможных вариантов снижения расхода топлива является использование гибридной силовой установки. Анализ существующих гибридных моделей на рынке показал (табл. 1), что стоимость автомобилей с ГСУ значительно превышает стоимость легковых автомобилей, используемых сегодня в коммерческих целях. Проведенное авторами исследование [1] показывает, что приведенная стоимость транспортной работы в городском режиме эксплуатации автомобиля Toyota Prius выше традиционных автомобилей того же класса из-за высокой цены на автомобиль, а его использование становится выгодным только после 350 тыс. км пробега за счет экономии топлива.

С другой стороны, среди имеющихся гибридных моделей нет автомобилей, приспособленных для перевозки малых грузов. Разработка ГСУ в виде универсального комплекта, включающего в себя электрические двигатели и оборудование для питания и управления электрическими двигателями, позволит предложить рынку более удобный вариант и решить еще одну задачу: согласно [2] основной причиной обращения владельцев гибридных автомобилей в сервисные центры является неисправность аккумуляторных батарей и электрооборудования — 61% обращений. В предлагаемой конструкции используется недорогая батарея с относительной невысокой емкостью, поскольку, в отличие от серийных гибридов, автомобиль не будет использоваться в режиме «электромобиль», т. е. только на аккумуляторной батарее.

Таким образом, цель данного исследования — анализ и подбор оборудования для модернизации традиционных автомобилей с двигателем

внутреннего сгорания и механической трансмиссией в автомобиле с ГСУ с последующим анализом топливной экономичности. Применение такого комплекта оборудования будет наиболее выгодным для малого коммерческого транспорта, работающего в городских условиях частых разгонов и торможений при невысоких средних скоростях. Поэтому и параметры топливной экономичности будут рассмотрены на примере движения автомобиля в городском цикле.

Анализ и выбор конструкции ГСУ

Ввиду актуальности тематики довольно большое количество статей посвящено анализу гибридных автомобилей и использованию ГСУ. Преимущества и недостатки ГСУ описаны в [3, 4, 5], где авторы приводят аргументы за и против использования гибридных автомобилей, их вклад в улучшение экологической обстановки городов, а также перспективы их развития. Значительное количество статей посвящено вариантам реализации [6, 7, 8] и алгоритмам управления [9, 10] гибридными установками. Так, выделяют гибриды двух типов — полные (full hybrids) и умеренные (mild hybrids). Полные гибриды способны проехать некоторое расстояние только на электрической тяге, тогда как в умеренных гибридах электрический двигатель служит помощником для двигателя внутреннего сгорания. Большим недостатком полных гибридов является необходимость установки батареи высокой емкости, что значительно удорожает конструкцию и к тому же требует ее переработки для размещения оборудования, в связи с этим разрабатываемую установку предлагается выполнить как умеренный гибрид.

Существуют три схемы исполнения ГСУ: последовательная, параллельная и последовательно-параллельная, каждая из которых обладает своими преимуществами и недостатками (табл. 2).

Таким образом, благодаря преимуществам последовательно-параллельной гибридной схемы она наиболее подходит для реализации на легковом автомобиле. Помимо этого, данная схема позволяет эксплуатировать ее в холодном климате ввиду использования батареи меньшей емкости и постоянной работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Подробный обзор конструкции существующих гибридных автомобилей приведен

Таблица 1

Стоимость гибридных автомобилей на российском рынке

Автомобиль	Стоимость
Toyota Prius	1 217 000 руб.
Lexus CT200h	1 318 000 руб.
Kia Niro Hybrid	1 400 000 руб.
Lexus RX450h Hybrid	4 543 000 руб.

Таблица 2

Сравнение преимуществ применения разных схем гибридной установки

Гибридная схема	Достоинства	Недостатки
Последовательная	Простота исполнения. Отсутствие необходимости в мощном ДВС и коробке переменных передач (КПП)	Потребность в аккумуляторах высокой емкости. Сложность эксплуатации в холодном климате
Параллельная	Отсутствие потребности в аккумуляторах большой емкости. Отсутствие необходимости в КПП. Совместная работа ДВС и электродвигателя при разгоне. Возможность реализации на традиционных автомобилях. Накопление рекуперативной энергии при торможении	Необходимость в достаточно мощном ДВС. Необходимость в зарядке батареи от стационарного источника энергии
Последовательно-параллельная	Отсутствие необходимости в КПП. Возможность совместной и раздельной работы электродвигателя и ДВС. Отсутствие необходимости в зарядке батареи от стационарного источника энергии. Отсутствие необходимости в батарее высокой емкости. Простота реализации на традиционных автомобилях по сравнению с другими схемами. Накопление рекуперативной энергии при торможении. Более высокий КПД по сравнению с другими схемами	Усложнение конструкции автомобиля

в [10, 11, 12]. Для реализации этой схемы на легковом автомобиле рассчитали потребную мощность электрических двигателей, параметров генератора и аккумуляторной батареи, после чего на основании анализа существующих аналогов и имеющегося на рынке оборудования были выбраны компоненты, представленные в табл. 3. Один из критериев выбора оборудования — возможность его установки на традиционный автомобиль и совместная работа со штатной электросетью автомобиля.

Таблица 3

Оборудование для реализации гибридной схемы

Наименование	Модель	Стоимость, руб.
Электрические двигатели	QSMOTOR 8000W BLDC	37 650
Аккумуляторная батарея	HiMAX Hybrid Battery	26 880
Генератор	Honda Civic FD3 LDA	7000
Блок управления	Arduino UNO	4000

Основными элементами внедряемого оборудования являются электрические двигатели, которые монтируют на рычаги задней подвески. Колеса устанавливают на корпус двигателей. Для питания электромоторов в колокол сцепления устанавливают генератор, вращаемый ДВС. В качестве резервного источника энергии выступает батарея, которую помещают в багажном отделении автомобиля. Управляет системой электронный блок, считывающий информацию о состоянии системы датчиков, установленных на колесах, педалях, батарее и других элементах автомобиля (рис. 1).

В рамках данного исследования рассматривалась возможность установки данного комплекта на автомобиль Lada Largus, необходимые конструктивные изменения в подвеске автомобиля, в электросети и трансмиссии.

Расчет топливной экономичности автомобиля с ГСУ

Поскольку нет общепринятого единого метода расчета топливной экономичности автомобиля с ГСУ на сегодняшний день, были рассмотрены подходы и методики, предлагаемые отече-

Рис. 1. Схема ГСУ: 1 — ДВС; 2 — КПП с генератором; 3, 5, 6, 10 — датчики; 4 — блок управления; 7 — силовые провода питания; 8 — сигнальные провода датчиков; 9 — электрические датчики; 11 — аккумуляторная батарея

ственными и зарубежными учеными. Наиболее распространенным подходом к расчету является использование математической модели автомобиля, оборудованного ГСУ, при этом параллельно осуществляется поиск оптимального алгоритма управления [13]. Помимо этого, используется экспериментальный автомобиль, построенный на базе серийной модели для изучения работы ГСУ и экспериментального определения топливной экономичности при помощи стендовых [14] и ходовых [15] испытаний.

Вопросы расчета топливной экономичности автомобилей с ГСУ более подробно рассмотрены в работах зарубежных исследователей, описаны алгоритмы работы и математические модели движения. В [16] рассматривается расход топлива гибридными автомобилями в городских условиях при разных режимах эксплуатации по дорогам г. Бангкока, проводится сравнение с традиционными автомобилями, в результате показана экономия от 19–45 % топлива в зависимости от агрессивности вождения (рис. 2). В [17, 18] приводятся результаты экспериментальных исследований и моделирования топливной экономичности гибридных автомобилей в различных режимах в целях создания модели, учитывающей особенности вождения водителя и дорожные условия. Более подробное математическое описание процессов регенерации энергии и перераспределения крутящего момента между электрическим двигателем и ДВС приведено в [19]. Так,

результаты зарубежных исследований показывают, что наибольшая экономия за счет использования ГСУ достигается в режиме магистрального цикла при спокойном вождении. В городском цикле расход топлива гибридными автомобилями разнится от 4,43 до 8,2 л/100 км, в зависимости от дорожных условий и стиля вождения.

Таким образом, основываясь на методике, предложенной в [13, 18, 20], необходимо разработать алгоритм работы ГСУ, для предлагаемой схемы алгоритм работы системы представлен на рис. 3.

Анализ последних исследований данного вопроса показал, что наиболее часто при определении топливной экономичности гибридных автомобилей прибегают к методу циклических испытаний: определение расхода топлива по городскому и магистральному циклам. Ездовой цикл представляет собой чередование режимов разгона, движения с установившейся скоростью, торможения и остановок. На основе ездового цикла определяется путевой расход топлива при циклическом движении в литрах на 100 км [21]. Путевой расход топлива — легко определяемая величина, относится к измерителям первой группы, т. е. описывает топливную экономичность самого автомобиля [22]. Решение этой задачи возможно либо на основе моделирования движения автомобиля в соответствии с программой ездового цикла, либо графоаналитическим мето-

Рис. 2. Экспериментальные данные расхода топлива в зависимости от условий движения: а — для автомобиля с ДВС; б — для автомобиля с ГСУ; Г — городской цикл; См — смешанный цикл; М — магистральный [16]

дом. Схема ездового цикла определена согласно¹ (рис. 4).

Рассмотрим данный метод расчета на примере автомобиля Lada Largus. На скоростях ниже 36 км/ч ДВС используется исключительно для вращения генератора, он работает при минимальном расходе топлива. Разгон и установившееся движение осуществляется на электрической тяге. При прохождении отметки 36 км/ч происходит переход на бензиновую тягу, дальнейшее движение осуществляется на ДВС. На остановках ДВС работает на холостом ходу.

Расход топлива на остановках определяется по формуле

$$Q_{\text{ост}} = \frac{G_{\text{тх}} t_{\text{ост}}}{3,6 \rho_{\text{т}}}, \text{ л}, \quad (1)$$

где $G_{\text{тх}}$ — часовой расход топлива на холостом ходу, кг/ч;

$t_{\text{ост}}$ — суммарное время остановок, с;

$\rho_{\text{т}}$ — плотность бензина, кг/м³.

Расход топлива на участках с использованием электрических двигателей

$$Q_{\text{ЭО}i} = \frac{g_{\text{emin}} P_{\text{ЭО}i} t_{\text{ЭО}i}}{3,6 \rho_{\text{т}}}, \text{ л}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ЭО}i}$ — время прохождения i -го участка, с;

g_{emin} — минимальный удельный расход топлива двигателем, г/кВт·ч;

$P_{\text{ЭО}i}$ — мощность, развиваемая электродвигателями, кВт.

Суммарный расход топлива при использовании электрических двигателей:

$$Q_{\text{ЭО}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{ЭО}i}. \quad (3)$$

При достижении скорости 36 км/ч расчет осуществляется согласно методике, изложенной в [21].

Тогда суммарный путевой расход топлива можно определить по формуле

$$Q_{\text{ст.ц}} = \frac{Q_{\text{ост}} + Q_{\text{ЭО}} + Q_{\text{двс}}}{S_{\text{г.ц}}} 100, \text{ л/100 км}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{двс}}$ — суммарный расход топлива на участках движения со скоростью выше 36 км/ч, при работе только ДВС, л; $S_{\text{г.ц}}$ — суммарный пройденный путь в цикле, км.

Полученный расход топлива согласно графоаналитическому методу расчета составил 5,53 л/100 км против 11,2 л/100 км, экономия топлива в городских условиях составила 50,63 % по сравнению с расходом заводского автомобиля. Полученные результаты согласуются с результатами натурных испытаний, проведенных в РУДН [23] по аналогичной методике цикловых испытаний. Автомобиль Toyota Yaris был испытан в городских условиях, как без использования, так и с использованием ГСУ, при этом средний расход топлива с ГСУ составил 4,8 л/100 км.

Заключение

Обзор существующих конструкций гибридных силовых установок позволил выявить наиболее эффективную и простую в производстве и эксплуатации схему гибридного автомобиля.

¹ ГОСТ 20306–90 Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. М., 1990.

Рис. 3. Алгоритм работы системы

Рис. 4. Схема ездового цикла в городских условиях

По техническим критериям, таким как требуемая мощность, емкость и напряжение, было подобрано оборудование для установки в автомобиль. Теоретический расчет топливной экономичности продемонстрировал эффективность использова-

ния гибридной силовой установки на легковом автомобиле Lada Largus. При помощи правильно спроектированного алгоритма работы системы можно добиться не только повышения показателей топливной экономичности, но и снижения

вредных выбросов в атмосферу. В дальнейшем требуется провести натурные испытания для уточнения полученных результатов и оптимальной настройки алгоритма и управляющей программы для гибридной силовой установки.

Библиографический список

1. Смирнов П. И., Пикалев О. Н. Сравнительная оценка гибридных автомобилей и автомобилей на традиционных видах топлива по стоимости транспортной работы // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты: сб. статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. Пермь, 2016. С. 39–41.
2. Угай С. М., Каминский Н. С., Пермьякова О. Г. Неисправности гибридных автомобилей при эксплуатации // Автомобильный транспорт Дальнего Востока. 2018. № 1. С. 288–294.
3. Хегай Ю. А., Тарасова Н. О., Лукьяненко Е. С. Перспективы развития электромобилей и автомобилей-гибридов // Теория и практика общественного развития. 2014. № 20.
4. Прокопова В. О., Рябыкин А. А., Карпиков Р. О., Моргунов Л. В. Гибридные автомобили с точки зрения экологии // Современные материалы, техника и технология: сб. науч. статей 7-й Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. А. А. Горохов. 2017. С. 305–307.
5. Сиваков В. В., Тихомиров П. В., Любушин А. А. Развитие гибридных автомобилей // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2017. № 26. С. 91–96.
6. Багдасаров Е. Как устроены гибридные автомобили? [Электронный ресурс] // Drive.ru: информационный портал. URL: <https://www.drive.ru/technic/4efb336400f11713001e4df5.html>. (дата обращения: 28.08.2019).
7. Павлюченко В. С., Сапрыкин И. К., Федоринов В. Н. Гибридные автомобили — решение экологической проблемы // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. 2018. С. 336–340.
8. Мальцев Д. И. Золотарев О. В., Ларионова Е. И. Исследования существующих гибридных автомобилей // Молодежь и научно-технический прогресс: сб. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х т. 2018. С. 161–165.
9. Некрасов А. С., Лежнев Л. Ю., Коротков В. С. Система предиктивного управления энергоустановкой гибридного автомобиля: состав и принцип работы // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: сб. матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. / редколлегия: О. Н. Широков [и др.]. 2018. С. 133–135.
10. Красавин П. А., Шабанов А. В., Шабанов А. А. К выбору алгоритма управления силовой установкой гибридного автомобиля категории М1 // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2017. № 3 (13). С. 40–44.
11. Лазарев Д. Б. Обзор разработок транспортных средств с комбинированными силовыми энергоустановками // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/issue/view?id=115> (дата обращения: 28.08.2019).
12. Ступникова М. А. Анализ типовых схем автомобилей, оснащенных гибридной силовой установкой // Точная наука. 2018. № 33. С. 38–37.
13. Куликов И. А., Селифонов В. В. Комбинированная энергоустановка последовательно-параллельного типа: теоретическое исследование // Журнал Автомобильных Инженеров. 2011. № 6. URL: <http://www.aae-press.ru/j0071/index.htm> (дата обращения: 28.08.2019).
14. Селифонов В. В., Карпукhin К. Е., Филонов А. И., Баулина Е. Е., Авруцкий Е. В. Гибридные автомобили — решение экологической проблемы автомобильного транспорта // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2007. № 2. URL: <https://mospolytech.ru/index.php?id=4143> (дата обращения: 28.08.2019).
15. Копотев Д. А., Филькин Н. М. Система управления комбинированной энергосиловой установкой гибридного легкового автомобиля // Вестник ИжГТУ. 2010. № 2. URL: <http://izdat.istu.ru>
16. Pitanuwat S., Sripakagorn A. An Investigation of Fuel Economy Potential of Hybrid Vehicles under Real-World Driving Conditions in Bangkok // Energy Procedia 79, 2015, pp. 1046–1053.
17. Thomas J., Huff S., West B. and Chambon P. Fuel Consumption Sensitivity of Conventional and Hybrid Electric Light-Duty Gasoline Vehicles to Driving Style // SAE Int. J. Fuels Lubr. 10(3):2017, doi 10.4271/2017-01-9379
18. Paykani A., Taghi Shervani-Tabar M. A comparative study of hybrid electric vehicle fuel consumption over diverse driving cycles // THEORETICAL & APPLIED MECHANICS LETTERS 1, 052005 (2011), doi 10.1063/2.1105205
19. Shrestha A., Phuyal S., Shrestha P., Mali B., and Bickram Rana L. Comparative Analysis of Regenerative Power and Fuel Consumption of Hybrid Electric Vehicle // Journal of Asian Electric Vehicles, Vol. 16, Number 2, December 2018, DOI 10.4130/jaev.16.1799.
20. Армеев А. С. Определение расхода топлива гибридного двигателя автомобиля // Сб. науч. статей 3-й Международной молодежной науч.-практ. конф., Курск, 22–23 сентября 2016, 18–21 с.

21. Тарасик В. И. Теория движения автомобиля. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 478 с.

22. Вахламов В. К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 560 с.

23. Ivanov Y., Ivanov R., Kadikyanov G., Staneva G. Study the fuel consumption of hybrid car Toyota Yaris // Transport Problems: X International Conference, 2018. Pp. 87–96.

References

1. Smirnov P. I., Pikalev O. N. *Sravnitel'naya otsenka gibridnykh avtomobiley i avtomobiley na traditsionnykh vidakh topliva po stoimosti transportnoy raboty* [Comparative assessment of hybrid cars and cars using traditional fuels in respect of the cost of transportation]. *Sb. statey studentov, magistrantov, aspirantov, molodykh uchenykh i prepodavateley «Razvitie sovremennoy nauki: teoreticheskie i prikladnye aspekty»* [Coll. of works by students, undergraduates, postgraduates, young scientists and teachers "Development of modern science: theoretical and applied aspects"]. Perm, 2016, pp. 39–41.

2. Ugay S. M., Kaminskiy N. S., Permyakova O. G. *Neispravnosti gibridnykh avtomobiley pri ekspluatatsii* [Malfunctions of hybrid cars during operation]. *Avtomobil'niy transport Dal'nego Vostoka – Automobile transport of the Far East*, 2018, no. 1, pp. 288–294.

3. Kheday Yu. A., Tarasova N. O., Luk'yanenko E. S. *Perspektivy razvitiya elektromobiley i avtomobiley-gibridov* [Prospects for the development of electric vehicles and hybrid vehicles]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya – Theory and practice of social development*, 2014, no. 20.

4. Prokopova V. O., Ryabykin A. A., Karpikov R. O., Morgunov L. V. *Gibridnye avtomobili s tochki zreniya ekologii* [Hybrid cars from the point of view of ecology]. *Trudy 7-y Mezhdunar. nauch.-prak.konf. «Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologiya»* [Proc. of the 7-th International sci.-pract. conf. "Modern materials, equipment and technology"]. Ed. by Gorokhov A. A. 2017, pp. 305–307.

5. Sivakov V. V., Tikhomirov P. V., Lyubutin A. A. *Razvitie gibridnykh avtomobiley* [Development of hybrid cars]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii – New materials and technologies in mechanical engineering*, 2017, no. 26, pp. 91–96.

6. Bagdasarov E. *Kak ustroeny gibridnye avtomobili* [How hybrid cars are designed]. *Drive.ru: informatsionniy portal* [Drive.ru: information portal]. Available at: <https://www.drive.ru/technic/4efb336400f11713001e4df5.html> (accessed: 28.08.2019).

7. Pavlyuchenko V. S., Saprykin I. K., Fedorinov V. N. *Gibridnye avtomobili – reshenie ekologicheskoy problemy*

[Hybrid cars: solution of ecological problem]. *Trudy Mezhdunar. nauch.-praktich.konf. molodykh uchenykh i spetsialistov «Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. of young scientists and specialists "Innovative technologies and technical means for agriculture"]. 2018, pp. 336–340.

8. Mal'tsev D. I., Zolotarev O. V., Larionova E. I. *Issledovaniya sushchestvuyushchikh gibridnykh avtomobiley* [Research of existing hybrid cars]. *Trudy IX Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh v 4-kh tomakh «Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress»* [Proc. of the IX Int. sci.-pract. conf. of students, postgraduates and young scientists in 4 volumes "Youth and scientific and technical progress"]. 2018, pp. 161–165.

9. Nekrasov A. S., Lezhnev L. Yu., Korotkov V. S. *Sistema prediktivnogo upravleniya energoustanovkoy gibridnogo avtomobilya: sostav i printsip raboty* [Predictive control system of a hybrid vehicle power plant: configuration and operation principle]. *Trudy VI Mezhdunar.nauch.-praktich.konf. «Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy: perspektivy razvitiya»* [Proc. of the VI Int. sci.-pract. conf. "Current directions of scientific research: prospects for development"]. Eds. Shirokov O. N. et al. 2018, pp. 133–135.

10. Krasavin P. A., Shabanov A. V., Shabanov A. A. *K vyboru algoritma upravleniya silovoy ustanovkoy gibridnogo avtomobilya kategorii M1* [Regarding the choosing of an algorithm for controlling the power plant of a hybrid vehicle of the M1 category]. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura – Car. Road. Infrastructure*, 2017, no. 3 (13), pp. 40–44.

11. Lazarev D. B. *Obzor razrabotok transportnykh sredstv s kombinirovannymi silovymi energoustanovkami* [Review of development of vehicles with combined power plants]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya: elektronniy nauchniy zhurnal* [Modern problems of science and education: electronic scientific journal]. 2014, no. 1. Available at: <https://science-education.ru/ru/issue/view?id=115> (accessed: 28.08.2019)

12. Stupnikova M. A. *Analiz tipovykh skhem avtomobiley, osnashchennykh gibridnoy silovoy ustanovkoy* [Analysis of typical schemes of cars equipped with a hybrid power train]. *Tochnaya nauka – Exact science*, 2018, no. 33, pp. 38–37.

13. Kulikov I. A., Selifonov V. V. *Kombinirovannaya energoustanovka posledovatel'no-parallel'nogo tipa: teoreticheskoe issledovanie* [Combined power plant of series-parallel type: theoretical study]. *Zhurnal Avtomobil'nykh Inzhenerov – Journal of Automotive Engineers*, 2011, no. 6. Available at: <http://www.aae-press.ru/j0071/index.htm> (accessed: 28.08.2019).

14. Selifonov V. V., et al. *Gibridnye avtomobili – reshenie ekologicheskoy problemy avtomobil'nogo*

transporta [Hybrid cars: solving the ecological problem of road transport]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI – Bulletin of the Moscow State Technical University MAMI*, 2007, no. 2. Available at: <https://mospolytech.ru/index.php?id=4143> (accessed: 28.08.2019).

15. Kopotev D. A., Fil'kin N. M. *Sistema upravleniya kombinirovannoy energosilovoy ustanovkoy gibridnogo legkovogo avtomobilya* [Control system of the combined power plant of a hybrid passenger car]. *Vestnik IzhGTU – Bulletin of ISTU*, 2010, no. 2. Available at: <http://izdat.istu.ru>

16. Pitanuwat S., Sripakagorn A. An Investigation of Fuel Economy Potential of Hybrid Vehicles under Real-World Driving Conditions in Bangkok. *Energy Procedia* 79, 2015, pp. 1046–1053.

17. Thomas J., Huff S., West B. and Chambon P. Fuel Consumption Sensitivity of Conventional and Hybrid Electric Light-Duty Gasoline Vehicles to Driving Style. *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 2017, no. 10(3). DOI 10.4271/2017-01-9379.

18. Paykani A., Taghi Shervani-Tabar M. A comparative study of hybrid electric vehicle fuel consumption over diverse driving cycles. *Theoretical & Applied Mechanics Letters*, 2011, no. 1052005. DOI 10.1063/2.1105205.

19. Shrestha A., et al. Comparative Analysis of Regenerative Power and Fuel Consumption of Hybrid Electric Vehicle. *Journal of Asian Electric Vehicles*, vol. 16, no. 2, December 2018. DOI: 10.4130/jaev.16.1799.

20. Armeev A. S. *Opredelenie raskhoda topliva gibridnogo dvigatelya avtomobilya* [Determination of the fuel consumption of the hybrid car engine]. *Trudy 3-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proc. of the 3-rd Int. youth scientific and practical conference]. Kursk, 2016, September 22–23, pp. 18–21.

21. Tarasik V. I. *Teoriya dvizheniya avtomobilya* [Theory of the motion of the car]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2006, 478 p.

22. Vakhlamov V. K. *Konstruktsiya, raschet i ekspluatatsionnye svoystva avtomobiley* [Design, calculation and operational properties of automobiles]. 2-nd ed., revised. Moscow, Akademiya Publ., 2009, 560 p.

23. Ivanov Y., Ivanov R., Kadikyanov G., Staneva G. *Study the fuel consumption of hybrid car Toyota Yaris*. Proc. of the X International Conference “Transport Problems”, 2018, pp. 87–96.