

Транспортное и энергетическое машиностроение


УДК 621.436

DOI 10.18698/0536-1044-2016-2-20-27

Расчетные исследования автомобильной силовой установки с системой рекуперации энергии

С.В. Гусаков¹, В.А. Марков², Х. Бехджуйан¹¹ Российский университет дружбы народов (РУДН), 117198, Москва, Российская Федерация, Миклухо-Маклая ул., д. 6² МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

A Calculation Study of an Automobile Power Unit with Energy Recovery System

S.V. Gusakov¹, V.A. Markov², H. Behjuian¹¹ People's Friendship University of Russia (PFUR), 117198, Moscow, Russian Federation, Miklukho-Maklaya St., Bldg. 6² BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1 e-mail: markov@power.bmstu.ru

i Повышение топливной экономичности силовых установок транспортных средств приобретает все большую значимость. Эффективным методом снижения эксплуатационного расхода топлива автомобильной силовой установки является использование систем рекуперации энергии. Рассмотрен метод улучшения показателей топливной экономичности силовой установки, заключающийся в применении на автомобиле механического аккумулятора энергии, выполненного в виде маховика (система KERS — Kinetic Energy Recovery System). Проведены расчетные исследования энергетического баланса силовой установки автомобиля с системой рекуперации энергии при его движении в соответствии с испытательными циклами EUDC, FTP-75 и WLTC. Расчеты показали, что установка на транспортное средство системы рекуперации кинетической энергии Fly Wheel KERS позволяет существенно снизить рабочий объем двигателя внутреннего сгорания автомобиля. Установлено, что для двух исследованных дизельных двигателей — Volkswagen TDI 1,9L и Mercedes Benz 300SD OM 617 — рабочий объем может быть уменьшен соответственно до 52 и 46 % от штатного значения, что позволит снизить расход топлива в испытательном цикле WLTC соответственно на 41 и 30 %.

Ключевые слова: силовая установка, автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, трансмиссия, система рекуперации, испытательный цикл, топливная экономичность.

i The need to increase fuel efficiency of vehicle power units has gained significant prominence. An efficient way to reduce operational fuel consumption of an automobile power unit is to utilize energy recovery systems. The authors examine a method of improving the power unit fuel efficiency indicators, which is based on the use of a mechanical energy accumulator represented as a flywheel (KERS — Kinetic Energy

Recovery System). Calculation studies are carried out on the energy balance of the automobile power unit with the energy recovery system when the vehicle is tested in accordance with the EUDC, FTP-75 and WLTC driving cycles. The calculations have shown that the installation of the Fly Wheel KERS energy recovery system on board of the vehicle allows a significant reduction in the capacity of the vehicle's internal combustion engine. It has been established that for the two studied diesel engines (Volkswagen TDI 1,9L and Mercedes Benz 300SD OM 617) the engine capacity can be reduced respectively to 52% and 46% of the standard size. In the WLTC driving cycle it allows the reduction of fuel consumption by 41% and 30% respectively.

Keywords: power unit, vehicle, internal combustion engine, transmission, energy recovery system, driving cycle, fuel economy.

Конкурентоспособность современного автомобиля существенно зависит от показателей топливной экономичности [1]. Снижение расхода топлива силовых установок транспортных средств приобретает все большую значимость вследствие повышения спроса на нефтепродукты и роста напряженности между странами-производителями и потребителями энергоресурсов. При этом существует прямая зависимость между количеством сжигаемого топлива и выбросами в атмосферу углекислого газа (диоксида углерода), являющегося основным парниковым газом [2].

Резервы снижения расхода топлива автомобильным двигателем внутреннего сгорания (ДВС) путем совершенствования рабочего процесса практически исчерпаны [3]. В связи с этим все большее значение приобретает оптимизация работы двигателя в составе силовой установки транспортного средства. Механические трансмиссии с коробками переключения передач (КПП) не позволяют осуществить такую оптимизацию в полной мере [4, 5]. При работе ДВС в качестве силовой установки легкового автомобиля с механической КПП в реальных условиях эксплуатации двигатель работает преимущественно в области частичных нагрузок, при которых значения его удельного эффективного расхода топлива и эффективного коэффициента полезного действия (КПД) далеки от показателей, соответствующих режиму наилучшей топливной экономичности. На рис. 1 приведены универсальные характеристики двух автомобильных дизельных двигателей с турбонаддувом — Volkswagen TDI 1,9L (с рабочим объемом $iV_h = 1,9$ л и номинальной мощностью $N_e = 66$ кВт при частоте вращения коленчатого вала $n = 4\,000$ мин⁻¹) и Mercedes Benz 300SD OM 617 ($iV_h = 3$ л, $N_e = 85$ кВт при $n = 4\,000$ мин⁻¹). Из рис. 1 следует, что зона минимальных расходов топлива с удельным эффективным рас-

ходом топлива g_e , равным соответственно 200 и 245 г/(кВт·ч), занимает незначительную часть поля возможных режимов работы двигателя [4–6].

Экспериментальные данные по расходу топлива этих двигателей были введены в программу расчета движения автомобиля, описанную в

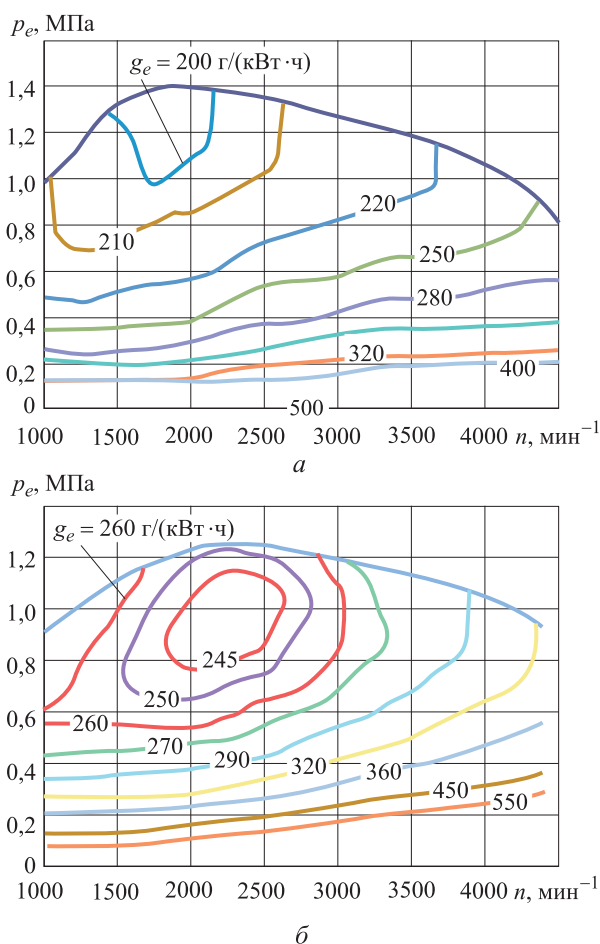


Рис. 1. Универсальные характеристики дизельных двигателей Volkswagen TDI 1,9L (а) и Mercedes Benz 300SD OM 617 (б) по удельному эффективному расходу топлива g_e :
 p_e — среднее эффективное давление; n — частота вращения коленчатого вала

работе [6]. Эта расчетная программа позволяет учитывать график изменения скорости автомобиля, заданный стандартизированным ездовым циклом, который моделирует реальные условия эксплуатации транспортного средства [7–9]. В ездовых циклах оговорены условия сопротивления движению транспортного средства, стратегия переключения передач, общая масса автомобиля (с учетом дополнительного оборудования, грузов и пассажиров), качество топлива, температура окружающей среды, выбор параметров шин [10–12]. Нормируются и многие другие параметры автомобиля, его силовой установки и трансмиссии. Предполагалось, что в качестве транспортного средства используется легковой автомобиль класса «В» массой около 1 т с пятиступенчатой механической КПП. В качестве испытательных циклов были выбраны следующие три цикла [7, 9, 10].

Европейский ездовой цикл NEDC (New European Driving Cycle), принятый к применению с 1 января 2000 г., состоит из двух фаз движения (рис. 2, а): имитации городского движения UDC (Urban Driving Cycle), повторяющейся 4 раза при ограничении скорости

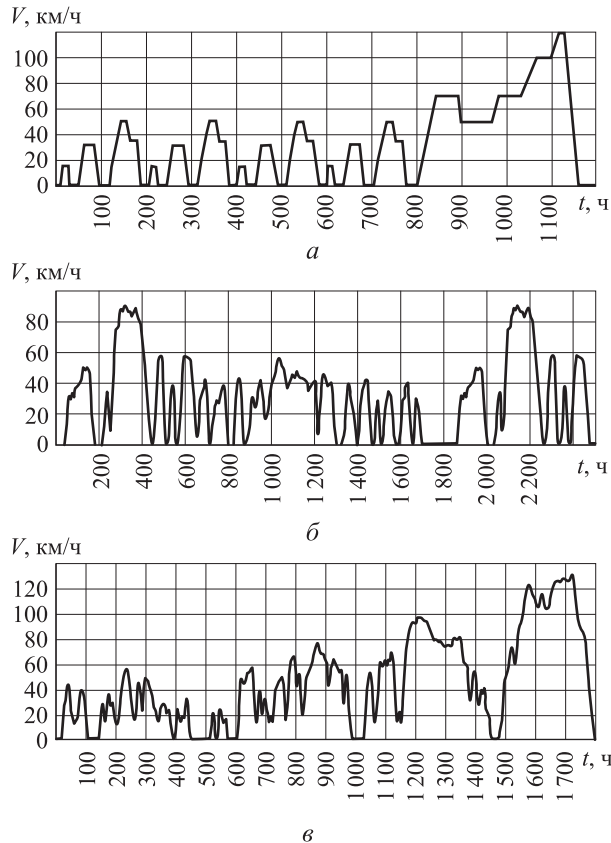


Рис. 2. Испытательные циклы: а — NEDC; б — FTP-75; в — WLTP

автомобиля 50 км/ч, и загородного движения EUDC (Extra Urban Driving Cycle) с максимальной скоростью 120 км/ч. Этого ездового цикла придерживается и Российская Федерация.

Испытательный цикл FTP-75 (Federal Test Procedure), разработанный в США, состоит из трех фаз движения (рис. 2, б): идентичных начальной и конечной фаз и более продолжительной второй фазы движения (после которой двигатель глушится на 10 мин). По сравнению с европейским циклом NEDC, FTP-75 более динамичен: автомобиль трогается с места 22 раза за цикл.

Новая процедура испытаний WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures) для определения эмиссии вредных веществ и выбросов CO₂ (оценки эксплуатационной топливной экономичности) легковых автомобилей и легких коммерческих фургонов (рис. 2, в) разработана экспертами из стран Европейского Союза, Японии и Индии как правила ЕЭК ООН в области транспортных средств и принята к применению в октябре 2015 г. Процедура предполагает три испытательных цикла в зависимости от уровня энерговооруженности транспортного средства, который характеризуется показателем PWR, равным отношению номинальной мощности двигателя к снаряженной массе автомобиля.

Рассмотрим третий испытательный цикл WLTP для мощных автомобилей класса 3 ($PWR > 34$ кВт/т). В табл. 1 приведены некоторые параметры цикла WLTP, включающего в себя четыре характерных участка движения, различающихся нагрузкой двигателя.

С помощью разработанной программы сравним указанные ездовые циклы с энергетической точки зрения. В качестве критерия используем среднюю мощность двигателя транспортного средства, необходимую для совершения цикла:

$$N_{e \text{ потр}} = A_{\text{цикл}} / t_{\text{цикл}},$$

где $A_{\text{цикл}}$ — работа, требующаяся для движения транспортного средства в соответствии с протоколом ездового цикла, определяемая в расчетной программе, кДж; $t_{\text{цикл}}$ — продолжительность ездового цикла, с.

Для ездовых циклов NEDC, FTP-75 и WLTP мощность $N_{e \text{ потр}}$ составляет соответственно 3,92, 3,43 и 5,21 кВт.

Проведенный анализ показал, что самым энергоемким является цикл WLTP, что связано

Таблица 1

Параметры испытательного цикла WLTP для транспортного средства класса 3

Параметр	Значение для участка движения цикла				
	Low	Medium	High	Extra High	За весь цикл
Продолжительность, с	589	433	455	323	1 800
Длительность остановок, с	156	48	31	7	242
Дистанция, м	3 095	4 756	7 158	8 254	2 3262
Доля времени стоянки, %	26,5	11,1	6,8	2,2	13,4
Максимальная скорость, км/ч	56,5	76,6	97,4	131,3	—
Средняя скорость, км/ч:					
без остановок	25,7	44,5	60,8	94,0	53,8
с остановками	18,9	39,5	56,6	92,0	46,5
Ускорение, м/с ² :					
минимальное	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2	—
максимальное	1,5	1,6	1,6	1,0	—

не столько с высокой максимальной скоростью в цикле, сколько с высокой динамической нагруженностью цикла — большим количеством участков с ускорением транспортного средства. При этом для всех циклов характерно низкое значение потребной средней мощности, которое существенно меньше номинальной мощности исследуемых дизельных двигателей.

В табл. 2 для трех испытательных циклов и двух исследуемых дизельных двигателей приведены расчетно-экспериментальные данные по расходу топлива $G_{цикл}$, условному расходу топлива за цикл, рассчитанному из требования выполнения работы цикла, но при работе двигателя на режиме максимальной топливной экономичности. Как было установлено (см. рис. 1), минимальный удельный эффективный расход топлива $g_{e\ min}$ дизельных двигателей Volkswagen TDI 1,9L и Mercedes Benz 300SD OM 617 составил соответственно 200 и 245 г/(кВт·ч).

Анализ характеристик исследуемых автомобильных двигателей и данные табл. 2 свидетельствуют о том, что рабочий объем ДВС эффективно используется лишь на режимах с полной нагрузкой. На частичных нагрузочных режимах он избыточен. Можно было бы рекомендовать комплектацию автомобиля двигателем с меньшим рабочим объемом, но поскольку такой ДВС не обеспечит желаемую динамику разгона автомобиля, водитель будет испытывать дискомфорт.

Для устранения этого недостатка можно применить гибридную силовую установку с

гидромеханической трансмиссией. Такой установкой, оснащаются, например, автомобили Toyota Prius современного исполнения. Расход топлива модели Prius-3 PHV (ZVW35) массой 1525 кг, поступившей в продажу в 2012 г., составляет 3,17 л/100 км [4] в новом японском испытательном цикле JC08, близком к европейскому циклу NEDC, но с большим временем стоянки автомобиля. Однако такая машина существенно дороже автомобиля того же класса. Кроме того, у экспертов вызывает опасение проблема утилизации использованных аккумуляторов, производство которых уже тревожит экологов.

Альтернативой гибридной установке является система рекуперации кинетической энергии

Таблица 2

Расход топлива за цикл и оценка резервов его снижения

Ездовой цикл	$G_{цикл}$, г	$G_{цикл\ min}$, г	$G_{цикл\ min}/G_{цикл}$ %
<i>Volkswagen TDI 1,9L</i>			
NEDC	569,5	265,9	45,1
FTP-75	763,2	356,8	46,8
WLTP	908,5	521,2	57,4
<i>Mercedes Benz 300SD OM 617</i>			
NEDC	706,5	325,8	46,1
FTP-75	888,9	437,1	49,2
WLTP	1083,5	638,4	58,9

гии (СПКЭ) Fly Wheel KERS (Kinetic Energy Recovery System), представляющая собой механический аккумулятор энергии, выполненный в виде легкого и компактного углепластикового маховика. Система устанавливается на задней оси автомобиля, и получаемая при торможении энергия используется для повышения частоты вращения маховика. По данным компании Volvo [13], такая технология позволяет сократить расход топлива на 20 % и обеспечивает транспортному средству дополнительную мощность на переходных режимах.

Например, автомобиль с четырехцилиндровым двигателем, оснащенный системой Fly Wheel KERS, способен разогнаться с ускорением, характерным для машин с шестицилиндровым ДВС. При разгоне автомобиля крутящий момент с маховика передается на задние колеса через специальный редуктор. Двигатель, передающий крутящий момент на передние колеса, в процессе торможения выключается. Энергия маховика может использоваться как для начала движения автомобиля, так и для поддержания повышенной скорости его движения.

Типичный для гоночного автомобиля формулы F1 мотор-генератор системы KERS массой около 5 кг обеспечивает мощность 60 кВт в течение примерно 7 с, что соответствует запасаемой энергии 420 кДж [14]. Мотор-генератор системы KERS может заменить как штатный генератор переменного тока с выпрямителем, так и стартер постоянного тока, а также может быть использован для пуска ДВС при работе в режиме «старт-стоп» [15].

На рис. 3 приведены данные расчетных исследований влияния рабочего объема дизельных двигателей Volkswagen TDI 1,9L и Mercedes-Benz 300SD OM 617 на путевой расход топлива в предположении сохранения эффективности рабочего процесса и механического КПД на неизменном уровне. Расчеты с использованием разработанной программы проведены для трех ездовых циклов.

Как видно из рис. 3, уменьшение рабочего объема приводит к снижению эксплуатационного расхода топлива. На начальном участке характеристики темп его снижения в абсолютных единицах примерно постоянен как для обоих дизельных двигателей, так и для различных циклов движения, и составляет около 5 г снижения расхода топлива за цикл на 1% уменьшения рабочего объема ДВС. Влияние снижения рабочего объема двигателя на экс-

плуатационную топливную экономичность определяется следующим выражением (в относительных единицах):

$$k_{\text{топ}} = \frac{(\Delta G_{\text{т}} / G_{\text{т0}}) \cdot 100\%}{\Delta V_h},$$

где $\Delta G_{\text{т}}$ — абсолютное снижение расхода топлива за цикл, г/цикл; $G_{\text{т0}}$ — расход топлива при штатном рабочем объеме двигателя, г/цикл; ΔV_h — относительное снижение рабочего объема двигателя, %.

Наибольшее влияние снижения рабочего объема двигателя на эксплуатационную топливную экономичность наблюдается в европейском ездовом цикле NEDC ($k_{\text{топ}} = 0,72-0,86$), в несколько меньшей степени — в американском FTP-75 ($k_{\text{топ}} = 0,56-0,66$) и в наименьшей степени — в международном WLTP ($k_{\text{топ}} = 0,46-0,55$). При этом меньшие значения коэффициента влияния $k_{\text{топ}}$ соответствуют двигателю Mercedes-Benz 300SD OM 617 с худшей топливной экономичностью. Таким образом, чем «динамичнее» испытательный цикл, тем менее эф-

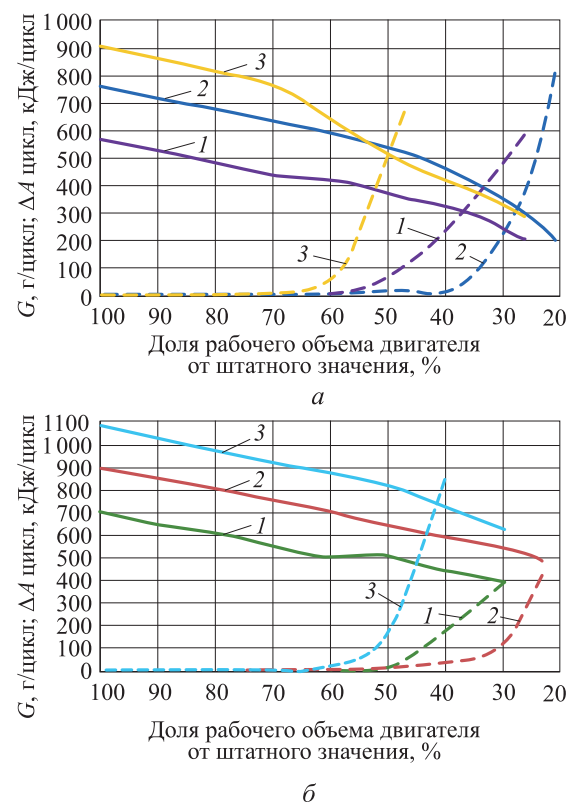


Рис. 3. Влияние рабочего объема дизельных двигателей Volkswagen TDI 1,9L (а) и Mercedes-Benz 300SD OM 617 (б) на путевой расход топлива $G_{\text{цикл}}$ (—) и невыполненную работу $\Delta A_{\text{цикл}}$ (-----) в цикле: 1 — NEDC; 2 — FTP-75; 3 — WLTP

эффективно снижение рабочего объема, что воспринимается как логичное заключение: цикл требует более высокой средней мощности для его выполнения.

На рис. 3 также приведены графики «невыполненной работы в цикле», смысл которых заключается в следующем. При уменьшении рабочего объема наступает момент, когда располагаемая мощность двигателя $N_{e\text{расп}}$, вычисляемая на режимах внешней скоростной характеристики, становится меньше потребной мощности $N_{e\text{потр}}$, необходимой для движения по циклу на некоторых его участках, в соответствии с графиком изменения текущей скорости транспортного средства.

В этом случае программно реализован алгоритм, в котором при недостаточной мощности двигателя ($N_{e\text{расп}} < N_{e\text{потр}}$) график движения транспортного средства, предписанный протоколом ездового цикла, нарушается, и движение автомобиля определяется равенством $N_{e\text{расп}} = N_{e\text{потр}}$. При этом работа, совершаемая в цикле, снижается, ее значения приведены на рис. 3. Наиболее критичным по параметру «невыполненная работа» является самый динамичный цикл WLTP. Если его принять за критериальный, то для двигателя Volkswagen TDI 1,9L предельным является 30 % снижения рабочего объема, а для модели Mercedes Benz 300SD OM 617 — 40 %.

Если же использовать СРКЭ типа Fly Wheel KERS, то в зависимости от уровня ее энергоемкости снижение рабочего объема может быть более значительным (без потери динамических качеств автомобиля). Так, приняв запас энер-

гии в СРКЭ порядка 420 кДж, можно уменьшить рабочий объем двигателей Volkswagen TDI 1,9L и Mercedes Benz 300SD OM 617 соответственно до 52 и 46 % от штатного значения, что позволит снизить расход топлива в цикле WLTP соответственно на 41 и 30%.

Выводы

1. С помощью разработанной расчетной программы проведено моделирование движения легкового автомобиля класса «В» массой около 1 т с пятиступенчатой механической КПП, оснащенного двумя дизельными двигателями — Volkswagen TDI 1,9L и Mercedes Benz 300SD OM 617. Исследования проводились на трех ездовых циклах: NEDC, FTP-75 и WLTP.

2. Показано, что рабочий объем исследуемых дизельных двигателей эффективно используется лишь на режимах с полной нагрузкой. На частичных нагрузочных режимах этот объем избыточен. Для устранения этого недостатка можно применить гибридную силовую установку с гидромеханической трансмиссией или СРКЭ Fly Wheel KERS.

3. Использование на транспортном средстве СРКЭ Fly Wheel KERS позволяет существенно снизить рабочий объем двигателя. Так, приняв запас энергии в СРКЭ порядка 420 кДж, можно уменьшить рабочий объем двигателей Volkswagen TDI 1,9L и Mercedes Benz 300SD OM 617 соответственно до 52 и 46 % от штатного значения, что позволит снизить расход топлива в цикле WLTP соответственно на 41 и 30 %.

Литература

- [1] Кравец В.Н., Горынин Е.В. *Законодательные и потребительские требования к автомобилям*. Нижний Новгород, Изд-во НГТУ, 2002. 400 с.
- [2] Александров А.А., Марков В.А., ред. *Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания*. Москва, ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. 791 с.
- [3] Александров А.А., Иващенко Н.А., ред. *Машиностроение. Энциклопедия*. Т. IV. Двигатели внутреннего сгорания. Москва, Машиностроение, 2013. 784 с.
- [4] Гусаков С.В. *Гибридные силовые установки на основе ДВС*. Москва, Изд-во РУДН, 2008. 180 с.
- [5] Гусаков С.В., Марков В.А., Афанасьева И.В. Улучшение эксплуатационных показателей транспортных средств при использовании гибридных силовых установок. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2012, № 2, с. 32–41.
- [6] Гусаков С.В., Ахмадниа М. Исследование резервов повышения эффективности работы ДВС в составе гибридной силовой установки. *Известия Волгоградского государственного технического университета. Процессы преобразования энергии и энергетические установки*, 2014, вып. 6, № 18, с. 41–44.

- [7] Милешкин К. Изменение расхода топлива: под вой барабанов. *За рулем*, 2012, № 5, с. 196–198.
- [8] Карелина М.Ю., Гайдар С.М. Исследование эффективности триботехнических препаратов на основе наноматериалов. *Грузовик*, 2015, № 4, с. 17–29.
- [9] Гусаков С.Н., Марков В.А., Мяхричев Д.В. Испытательный цикл NEDC и его соответствие современным условиям эксплуатации автомобилей с бензиновым ДВС. *Автомобильная промышленность*, 2012, № 9, с. 37–39.
- [10] Гусаков С.В., Марков В.А., Афанасьева И.В., Ахмадния М. Электромеханическая трансмиссия как способ улучшения топливной экономичности силовой установки автомобиля. *Автомобильная промышленность*, 2015, № 6, с. 5–8.
- [11] Тимков А.Н., Иванов А.С. Распределение тягового и тормозного усилия на колесах автомобиля в разных ездовых циклах. *Автомобильный транспорт*, 2011, вып. 29, с. 220–223.
- [12] Ворона А.В. К выбору ездового цикла гибридного автомобиля. *Автомобильный транспорт*, 2011, вып. 29, с. 227–230.
- [13] Mathews T., Nishanth D. Flywheel based kinetic energy recovery systems (KERS) integrated in vehicles. *Journal Policy International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2013, vol. 5, no. 9, pp. 1694–1699.
- [14] Piancastelli L., Daidzic N.E., Frizziero L., Rocchi I. Analysis of automotive diesel conversions with KERS for future aerospace applications. *International Journal of Heat and Technology*, 2013, vol. 31, iss. 1, pp. 143–153.
- [15] Дебелов В.В., Козловский В.Н., Пьянов М.А., Строганов В.И. Моделирование и разработка электротехнического комплекса управления автомобилем в режимах старт и стоп. *Грузовик*, 2015, № 5, с. 15–20.

References

- [1] Kravets V.N., Gorynin E.V. *Zakonodatel'nye i potrebitel'skie trebovaniia k avtomobiliam* [Legislative and consumer demand for automobiles]. Nizhny Novgorod, NSTU publ., 2002. 400 p.
- [2] Aleksandrov A.A., Arkharov I.A., Bagrov V.V., Gaivoronskii A.I., Grekhov L.V., Devianin S.N., Ivashchenko N.A., Markov V.A. *Al'ternativnye topliva dlia dvigatelei vnutrennego sgoraniia* [Alternative fuels for internal combustion engines]. Moscow, OOO NITs Inzhener publ., OOO Oniko-M publ., 2012. 791 p.
- [3] *Mashinostroenie. Entsiklopediia. Tom 4. Dvigateli vnutrennego sgoraniia* [Mechanical Engineering. Encyclopedia. Vol. 4. Internal combustion engines]. Ed. Aleksandrov A.A., Ivashchenko N.A. Moscow, Mashinostroenie publ., 2013. 784 p.
- [4] Gusakov S.V. *Gibridnye silovye ustanovki na osnove DVS* [Hybrid power plants based on internal combustion engines]. Moscow, RUDN publ., 2008. 180 p.
- [5] Gusakov S.V., Markov V.A., Afanas'eva I.V. Uluchshenie ekspluatatsionnykh pokazatelei transportnykh sredstv pri ispol'zovanii gibridnykh silovykh ustanovok [Improvement of vehicles performances by use of hybrid propulsion systems]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2012, no. 2, pp. 32–41.
- [6] Gusakov S.V., Akhmadnia M. Issledovanie rezervov povysheniia effektivnosti raboty DVS v sostave gibridnoi silovoi ustanovki [Research of reserves of increase of efficiency of internal combustion engines in hybrid propulsion system]. *Izvestiia Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Protsessy preobrazovaniia energii i energeticheskie ustanovki* [News of Volgograd State Technical University. The processes of energy conversion and power plants]. 2014, iss. 6, no. 18, pp. 41–44.
- [7] Милешкин К. Изменение расхода топлива: под вой барабанов [Change in fuel consumption: the beat of drums]. *Za rulem* [Behind the wheel]. 2012, no. 5, pp. 196–198.
- [8] Карелина М.Ю., Гайдар С.М. Исследование эффективности триботехнических препаратов на основе наноматериалов [Research of efficiency of tribotechnical preparations on the basis of nanomaterials]. *Gruzovik* [Truck]. 2015, no. 4, pp. 17–29.
- [9] Gusakov S.N., Markov V.A., Miakhriachev D.V. Ispytatel'nyi tsikl NEDC i ego sootvetstvie sovremennym usloviyam ekspluatatsii avtomobiley s benzinovym DVS [Estimation of Con-

- formity of a Test Cycle NEDC to Modern Conditions of Operation of Automobiles with Petrol Ice]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [Automotive Industry]. 2012, no. 9, pp. 37–39.
- [10] Gusakov S.V., Markov V.A., Afanas'eva I.V., Akhmadnia M. Elektromekhanicheskaia transmissiia kak sposob uluchsheniia toplivnoi ekonomichnosti silovoi ustanovki avtomobilia [Electromechanical transmission as a way to improve the fuel efficiency of the power plant of the vehicle]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [Automotive industry]. 2015, no. 6, pp. 5–8.
- [11] Timkov A.N., Ivanov A.S. Raspredelenie tiagovogo i tormoznogo usiliia na kolesakh avtomobilia v raznykh ezdovykh tsiklakh [Distribution of traction and braking force on the wheels of a vehicle in different driving cycles]. *Avtomobil'nyi transport* [Automobile transport]. 2011, iss. 29, pp. 220–223.
- [12] Vorona A.V. K vyboru ezdovogo tsikla gibridnogo avtomobilia [By choosing a hybrid vehicle driving cycle]. *Avtomobil'nyi transport* [Automobile transport]. 2011, iss. 29, pp. 227–230.
- [13] Mathews T., Nishanth D. Flywheel based kinetic energy recovery systems (KERS) integrated in vehicles. *Journal Policy International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2013, vol. 5, no. 9, pp. 1694–1699.
- [14] Piancastelli L., Daidzic N.E., Frizziero L., Rocchi I. Analysis of automotive diesel conversions with KERS for future aerospace applications. *International Journal of Heat and Technology*, 2013, vol. 31, iss. 1, pp. 143–153.
- [15] Debelov V.V., Kozlovskii V.N., P'ianov M.A., Stroganov V.I. Modelirovanie i razrabotka elektrotekhnicheskogo kompleksa upravleniia avtomobilem v rezhimakh start i stop [Modeling and development of complex electrical control of the vehicle in the start and stop]. *Gruzovik* [Truck: transportation complex and special technique]. 2015, no. 5, pp. 15–20.

Статья поступила в редакцию 16.10.2015

Информация об авторах

ГУСАКОВ Сергей Валентинович (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели». Российский университет дружбы народов (РУДН) (117198, Москва, Российская Федерация, Миклухо-Маклая ул., д. 6).

МАРКОВ Владимир Анатольевич (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Теплофизика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru).

БЕХДЖУЙАН Хоссейн (Москва) — аспирант кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели». Российский университет дружбы народов (РУДН) (117198, Москва, Российская Федерация, Миклухо-Маклая ул., д. 6).

Information about the authors

GUSAKOV Sergey Valentinovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Combustion Engineering and Power Engines. People's Friendship University of Russia (PFUR) (117198, Moscow, Russian Federation, Miklukho-Maklaya St., Bldg. 6).

MARKOV Vladimir Anatolievich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Thermophysics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru).

BEHJUIAN Hossein (Moscow) — Postgraduate, Department of Combustion Engineering and Power Engines. Peoples' Friendship University of Russia (PFUR) (117198, Moscow, Russian Federation, Miklukho-Maklay St., Bldg. 6).

12 января 2016 года после тяжелой болезни скончался известный ученый-двигателест, доктор технических наук, профессор Сергей Валентинович Гусаков. Редакция выражает соболезнования родным, близким и коллегам.