

УДК 621.436

DOI: 10.18698/0536-1044-2016-1-57-64

Расчетные исследования автомобильного двигателя на режимах испытательных циклов

С.В. Гусаков¹, В.А. Марков², М. Ахмадния¹

¹ Российский университет дружбы народов (РУДН), 117198, Москва, Российская Федерация, Миклухо-Маклая ул., д. 6

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

A Calculation Study of an Automobile Engine in Test Drive Cycles

S.V. Gusakov¹, V.A. Markov², M. Akhmadnia¹

¹ People's Friendship University of Russia (PFUR), 117198, Moscow, Russian Federation, Miklukho-Maklaya St., Bldg. 6

² BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1



e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru



Актуальность статьи обусловлена необходимостью уменьшения эксплуатационного расхода топлива транспортными средствами, работающими в условиях интенсивного городского движения. Рассмотрен метод улучшения показателей топливной экономичности силовой установки автомобиля, заключающийся в использовании системы рекуперации энергии — механического аккумулятора энергии, выполненного в виде маховика (система KERS — Kinetic Energy Recovery System). Использование таких систем позволяет уменьшить рабочий объем двигателя и повысить эксплуатационную топливную экономичность транспортного средства. Разработана и использована компьютерная программа, позволяющая рассчитывать энергетический баланс силовой установки автомобиля, т. е. мощностные показатели ДВС, требуемые от двигателя транспортного средства для движения в соответствии с задаваемым ездовым циклом. Проведены расчетные исследования энергетического баланса силовой установки автомобиля при его движении в соответствии с испытательными циклами EUDC и HWFET. Расчеты подтвердили эффективность установки на борту автомобиля системы KERS.

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



The importance of this study stems from the need to reduce operational fuel consumption by vehicles working in heavy urban traffic. A method of improving fuel efficiency indicators of the vehicle power unit is considered in this article. The method employs a system of energy recovery using a flywheel as the mechanical accumulator of energy (KERS – Kinetic Energy Recovery System). The use of such systems can reduce the engine working capacity and increase the operational fuel efficiency of the vehicle. The authors have developed and used a software programme that allows them to calculate the energy balance of the vehicle power unit; that is the power indicators of the internal combustion engine, which are required for movement in accordance with a specified driving cycle. Calculations of the power unit energy balance are performed for the EUDC and HWFET driving cycles. The calculations have shown the efficiency of the KERS installation on board of the vehicle.

Keywords: power unit, vehicle, internal combustion engine, transmission, drive cycle, fuel economy.

Проблема улучшения топливной экономичности автомобильных силовых установок с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) — одна из наиболее актуальных проблем двигателестроения [1–3]. Это связано с неизбежным истощением мировых запасов нефти, нарастающим дефицитом нефтепродуктов, высокими ценами на моторные топлива. Топливная экономичность автомобильных двигателей может быть оценена с использованием общепринятых показателей — часового расхода топлива, удельного эффективного расхода топлива, эффективного коэффициента полезного действия (КПД) [1, 2]. Эти показатели характеризуют конкретный режим работы ДВС.

Однако автомобильные двигатели работают в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов, многие из которых отличаются сравнительно невысокой топливной экономичностью. Это обусловлено тяжелыми условиями эксплуатации автомобиля и его ДВС в современных городских условиях, характеризующихся загруженностью городских автомагистралей, частой сменой разгонов и торможений, рассогласованием характеристик различных систем двигателя и неоптимальностью его параметров [2, 3]. В связи с этим применяются и другие показатели топливной экономичности автомобильных двигателей, например, расход топлива на 100 км пробега автомобиля. Однако этот показатель зависит от реального распределения режимов работы ДВС и может меняться при изменении условий эксплуатации.

Для оценки расхода топлива автомобильным двигателем в условиях эксплуатации используются ездовые циклы — специальные процедуры испытаний, разработанные экспертами из стран Европейского союза, Японии и США на основе руководящих принципов экологической безопасности ЕЭК ООН в области транспортных средств. Испытания проводят в специализированных лабораториях на стенде с беговыми барабанами, обеспечивающими требуемую нагрузку силовой установки автомобиля, для исключения влияния погодных условий, рельефа местности и качества покрытия на их результаты. Ездовой цикл имитирует движение автомобиля в городе и на магистралях, характерных для той или иной местности. Процедура тестирования жестко оговаривает условия испытаний — закон изменения скорости движения транспортного средства в соответствии с выбранным ездовым циклом, параметры

трансмиссии, включая выбор передачи в коробке переключения передач (КПП), вес автомобиля и его грузоподъемность, параметры окружающей среды и применяемого топлива, а также некоторые другие параметры [4–6].

К стандартизированным ездовым циклам относятся процедуры *EUDC* (*Extra Urban Driving Cycle*) и *HWFET* (*High Way Fuel Economy Test*), которые имитируют движение автомобиля по автомагистрали [7–9]. Европейский цикл *EUDC* является частью испытательного цикла *NEDC* (*New European Driving Cycle*) и представляет собой отрезок пути расстоянием в 7 км, который транспортное средство должно проехать за 400 с. Максимальная скорость в цикле составляет 120 км/ч. Американский цикл *HWFET* задает максимальную скорость движения 96,5 км/ч, имея продолжительность 765 с, что почти в 2 раза больше аналогичной европейской загородной фазы цикла *NEDC*, и предполагает на четверть большую среднюю скорость.

Для проведения расчетных исследований режимов работы двигателя разработана и использована компьютерная программа, позволяющая рассчитывать энергетический баланс силовой установки автомобиля, т. е. мощностные показатели ДВС, требуемые от него для движения транспортного средства в соответствии с задаваемым ездовым циклом [6]. Для оценки расхода топлива двигателем автомобиля в программу введены данные по ДВС в виде топливной карты (цикловая подача топлива в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя) или экспериментально полученной универсальной характеристики удельного эффективного расхода топлива в функции частоты вращения коленчатого вала ДВС и его нагрузки.

Ездовой цикл характеризуется продолжительностью, максимальной и средней скоростями движения автомобиля, количеством и длительностью остановок и другими параметрами. С энергетической точки зрения оценкой цикла может служить работа $A_{\text{цикл}}$, совершаемая двигателем транспортного средства при его движении в соответствии с выбранным циклом, а также требуемая для этого средняя мощность силовой установки $N_{e \text{ ср}}$. При этом последняя и максимальная потребная мощность $N_{e \text{ потр max}}$ в ездовых циклах *EUDC* и *HWFET* заметно отличаются.

При оснащении автомобиля классической механической трансмиссией реализовать его

движение в полном соответствии с условиями ездового цикла сложно, так как в нем имеются участки, на которых потребная мощность двигателя (равная его номинальной мощности) максимальна. При движении автомобиля на других участках цикла наблюдается недоиспользование номинальной мощности ДВС, которое является причиной повышенного эксплуатационного расхода топлива и побуждает к поиску решений по оптимизации режимов работы двигателя.

К этим решениям относятся методы регулирования мощности отключением цилиндров [10, 11], применение модульных силовых установок [12], электрических трансмиссий, электромеханических комбинированных (гибридных) силовых установок [3, 13], а также систем рекуперации энергии, в частности, механического аккумулятора энергии, выполненного в виде маховика (система *KERS — Kinetic Energy Recovery System*) [14]. Использование таких систем рекуперации позволяет запасать механическую энергию на режимах с неполной нагрузкой и отдавать ее при необходимости кратковременного форсирования автомобильного двигателя. В этом случае появляется возможность уменьшения рабочего объема двигателя и повышения эксплуатационной топливной экономичности транспортного средства.

Для оценки отношения максимальной потребной мощности $N_{e\text{ потр max}}$ к средней мощности за цикл $N_{e\text{ ср}}$ в ездовых циклах *EUDC* и *HWFET* необходимо определить параметры транспортного средства и его силовой установки. В качестве объекта исследования был выбран дизель с турбонаддувом *Volkswagen TDI* модели *ALH* с рабочим объемом $iV_h = 1,9$ л, мощностью 66 кВт при частоте вращения коленчатого вала $3\,750\text{ мин}^{-1}$, устанавливаемый на автомобиль класса «B» фирмы *Volkswagen AG*. Технические характеристики исследуемых автомобиля, двигателя и трансмиссии приведены в табл. 1.

Поле нагрузочно-скоростных режимов работы этого двигателя ограничивается внешней скоростной характеристикой (ВСХ), показанной на рис. 1. После обработки данных рис. 1 были получены следующие значения основных параметров выбранного двигателя, работающего на исследуемых ездовых циклах:

- *EUDC*: $A_{\text{цикл}} = 3477$ кДж; $N_{e\text{ ср}} = 8,69$ кВт; $N_{e\text{ потр max}} = 52,8$ кВт;
- *HWFET*: $A_{\text{цикл}} = 5426$ кДж; $N_{e\text{ ср}} = 7,09$ кВт; $N_{e\text{ потр max}} = 31,3$ кВт.

Таблица 1
Технические характеристики исследуемых автомобиля, двигателя и трансмиссии

Параметр	Значение
Вес автомобиля в ходе процедуры испытаний, Н	10000
Динамический диаметр колеса автомобиля, м	0,60
Лобовая площадь автомобиля, м ²	2,5
Коэффициент аэродинамического сопротивления	0,36
КПД трансмиссии	0,95
Передаточное отношение главной передачи	3,06
Передаточные числа КПП	3,727; 2,043; 1,393; 1,029; 0,795
Относительная частота при переключении КПП, %	70
Номинальная мощность/номинальная частота вращения, кВт/мин ⁻¹	66/3750
Минимально устойчивая частота холостого хода, мин ⁻¹	800

При значительной разнице в потребной максимальной мощности, работе и времени выполнения цикла, средняя мощность силовой установки в исследуемых циклах отличается незначительно (у европейского цикла она больше). При этом средняя скорость у амери-

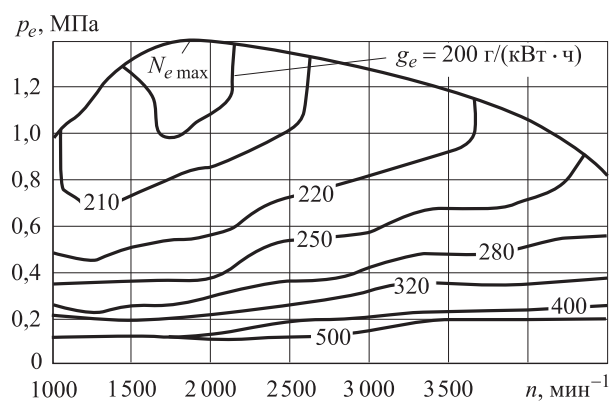


Рис. 1. Универсальная характеристика дизеля *Volkswagen TDI* модели *ALH* по удельному эффективному расходу топлива g_e : p_e — среднее эффективное давление; n — частота вращения коленчатого вала; $N_{e\text{ max}}$ — максимальная мощность по ВСХ

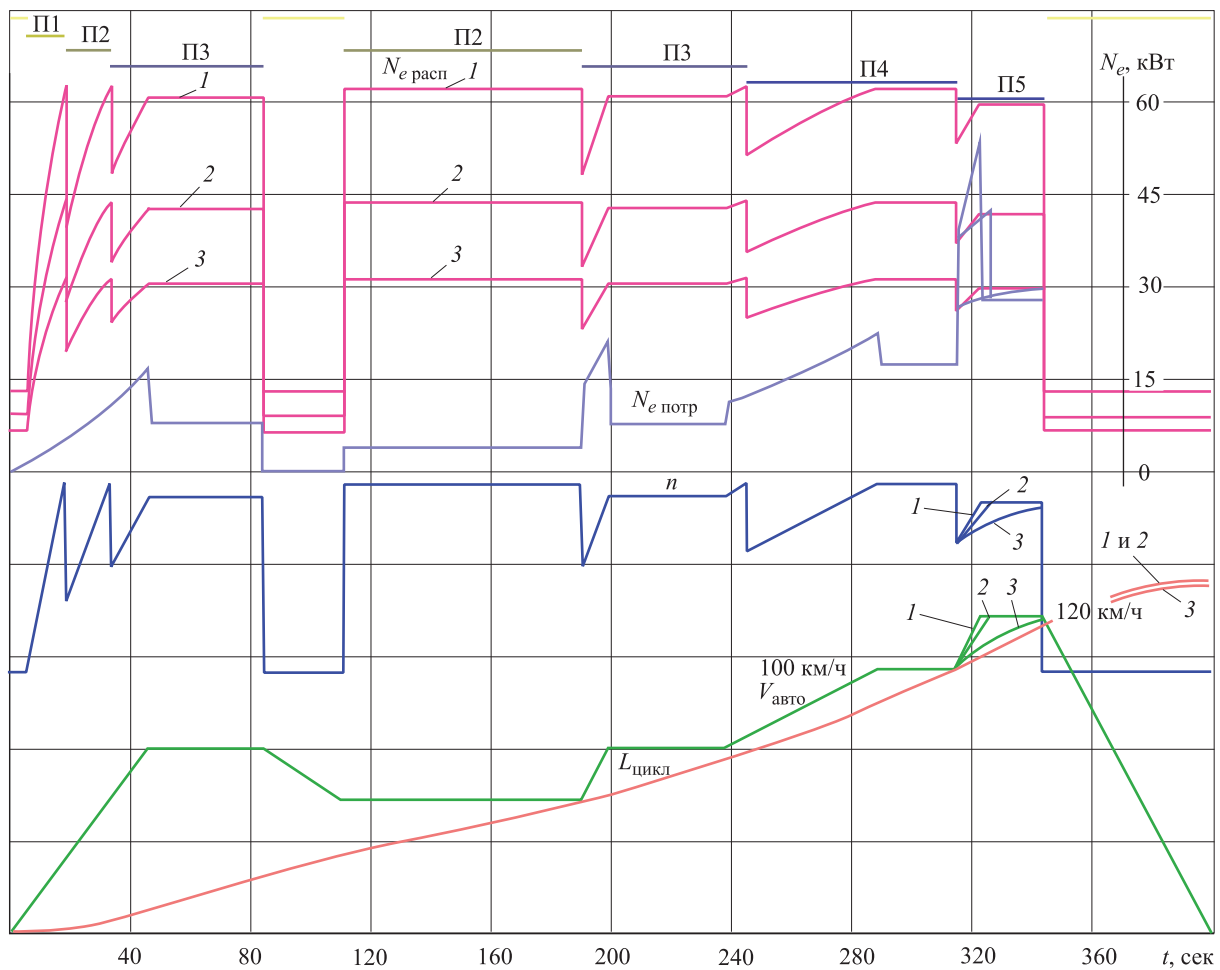


Рис. 2. Параметры движения автомобиля в соответствии с циклом *EUDC* при рабочем объеме двигателя $iV_h = 1,9$ л (1), 1,33 (2) и 0,95 л (3)

канского цикла (77,7 км/ч) больше, чем у европейского (62,6 км/ч). Это связано с тем, что последний более динамичен, т. е. в нем относительно большие затраты энергии на ускорение транспортного средства больше. На рис. 2, где графически представлены параметры движения автомобиля в соответствии с циклом *EUDC*, явно просматриваются участки ускорения автомобиля при высоких скоростях движения.

Линии 1 на рис. 2 соответствуют двигателю с базовым рабочим объемом цилиндров 1,9 л. Сравнение кривых мощности $N_{e\text{ потр}}$, необходимой для движения транспортного средства при цикле *EUDC*, и мощности $N_{e\text{ расп}}$, соответствующей ВСХ, показало, что на протяжении практически всего испытательного цикла имеется значительное недоиспользование мощности двигателя. Это служит основанием для снижения рабочего объема двигателя и повышения эксплуатационной топливной экономичности транспортного средства (табл. 2).

Анализ данных табл. 2 показывает, что уменьшение рабочего объема ДВС при выполнении ездового цикла *EUDC* позволяет значительно снизить путевой расход топлива. Однако на наиболее нагруженных участках цикла условие $N_{e\text{ расп}} \geq N_{e\text{ потр}}$ не выполняется, как это происходит при наборе скорости со 100 до 120 км/ч при рабочем объеме двигателя 1,33 и 0,95 л.

При реализации цикла *HWFET* наблюдаются аналогичные явления (рис. 3).

Алгоритм разработанной расчетной программы таков, что если мощности двигателя транспортного средства не хватает для движения в точном соответствии с ездовым циклом, то скорость автомобиля определяется по мощности двигателя, соответствующей ВСХ. При этом суммарный путь и работа цикла снижаются. Следует отметить, что даже при двукратном уменьшении рабочего объема двигателя с 1,9 до 0,95 л снижение работы составляет в цикле

Таблица 2

Характеристики выполнения циклов *EUDC* и *HWFET* при различных значениях рабочего объема ДВС

iV_h , л	$L_{цикл}$, м (%)	$G_{т}$, г/цикл (%)	$G_{т100}$, г/100км (%)	$A_{цикл}$, кДж (%) – $\Delta A_{цикл}$, кДж
<i>EUDC</i>				
1,90	7442,8 (100)	325,6 (100)	5,758 (100)	3476,7 (100) – 0,0
1,33	7437,9 (99,93)	241,4 (74,1)	4,271 (74,2)	3457,1 (99,4) – 19,6
0,95	7395,6 (99,37)	202,4 (62,2)	3,602 (62,6)	3358,8 (96,6) – 117,9
<i>HWFET</i>				
1,90	16247 (100)	508,3 (100)	4,117 (100)	5427,1 (100) 0,0
1,33	16247 (100)	432,2 (85,0)	3,501 (85,0)	5419,3(99,9) -7,8
0,95	16247 (100)	385,0 (75,7)	3,118 (75,7)	5408,0 (99,6) –19,1

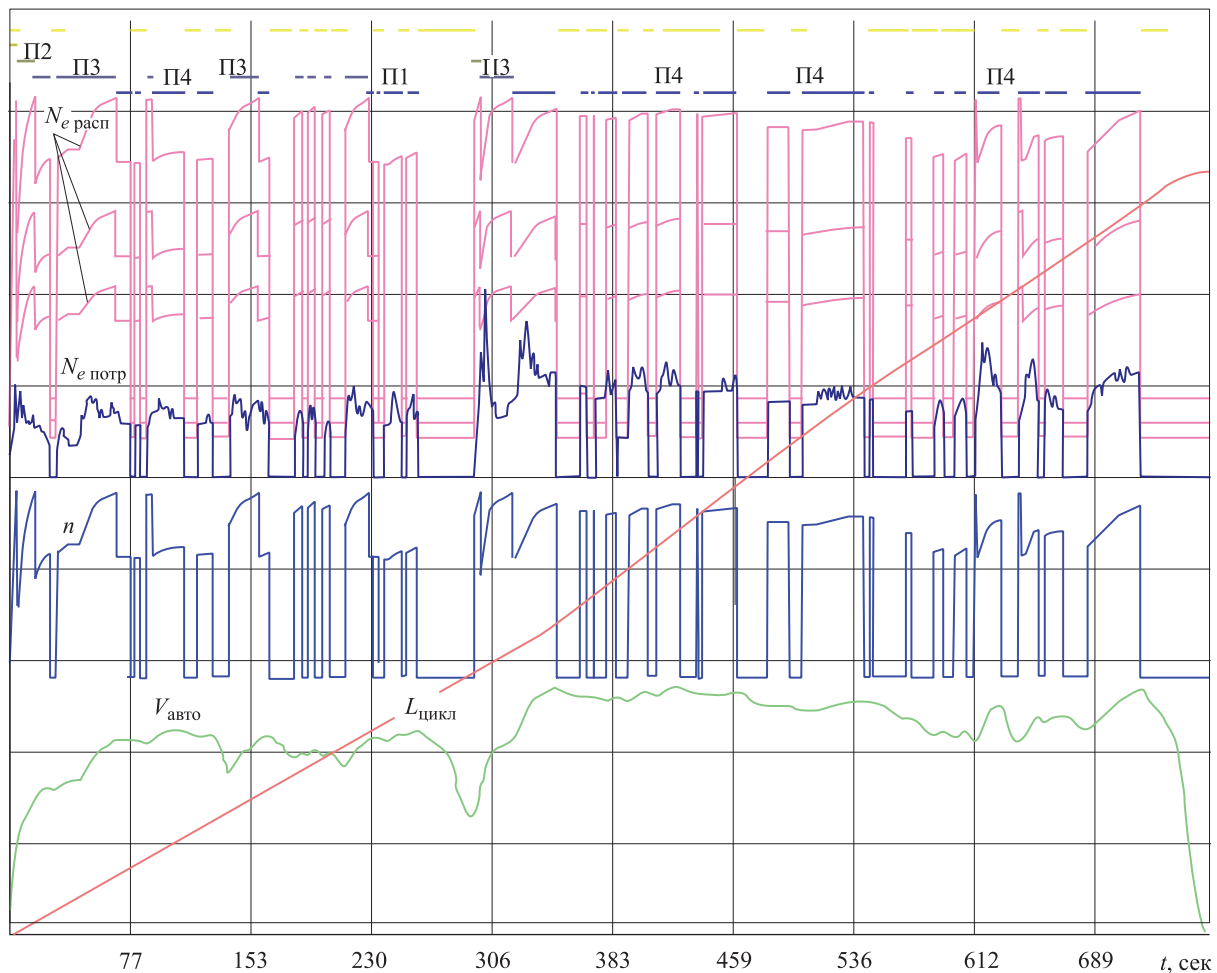


Рис. 3. Параметры движения автомобиля в соответствии с циклом *HWFET* при рабочем объеме двигателя $iV_h = 1,9$ (1), 1,33 (2) и 0,95 л (3)

EUDC всего лишь 117,9 кДж. В цикле *HWFET* аналогичный показатель значительно меньше и равен 19,1 кДж (см. табл. 2).

При оснащении исследуемого автомобиля системой *KERS* с накопителем энергии в виде

маховика (плотность материала $\rho = 7820$ кг/м³; масса $m = 12,05$ кг; момент инерции $J = 0,0579$ кг·м²), размеры которого приведены на рис. 4, а, энергия для обеспечения движения транспортного средства по циклу *EUDC* с дви-

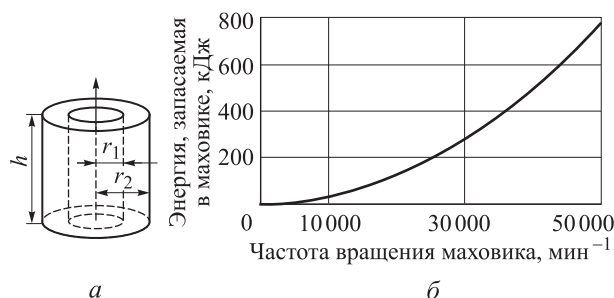


Рис. 4. Маховик системы KERS (а) и его энергетическая характеристика (б):
 $r_1 = 0,10$ м; $r_2 = 0,14$ м; $h = 0,05$ м

гателем рабочим объемом 0,95 л может быть запасена в нем при частоте вращения маховика порядка 20 000 мин⁻¹ (рис. 4, б). При этом ДВС, работая на режиме максимальной экономичности с удельным эффективным расходом топлива 200 г/(кВт·ч), израсходует топлива менее 7 г для пополнения маховика энергией около 120 кДж.

Таким образом, проведенные расчетные исследования подтвердили эффективность установки на борту автомобиля системы рекуперации энергии — механического аккумулятора энергии, выполненного в виде маховика (система KERS). Также подтверждена возможность

использования разработанной программы расчета энергетического баланса силовой установки автомобиля при его оснащении системой рекуперации энергии.

Выводы

1. При движении автомобиля класса «В», оснащённого дизелем с турбонаддувом мощностью 66 кВт (частота вращения коленчатого вала 3 750 мин⁻¹), эксплуатационную топливную экономичность можно повысить за счет двукратного снижения рабочего объема двигателя: на 37,4 и 24,3 % при его работе на режимах ездового цикла *EUDC* и *HWFET* соответственно.

2. Для сохранения требуемой динамики движения необходимо оборудовать автомобиль системой накопления энергии типа KERS.

3. Энергия для обеспечения движения транспортного средства по циклу *EUDC* с двигателем рабочим объемом 0,95 л может быть запасена в нем при частоте вращения маховика порядка 20 000 мин⁻¹. При этом двигатель, работая на режиме максимальной экономичности с удельным эффективным расходом топлива 200 г/(кВт·ч), израсходует топлива менее 7 г для пополнения маховика энергией около 120 кДж.

Литература

- [1] Шатров М.Г., ред. *Автомобильные двигатели*. Москва, Издательский центр «Академия», 2010. 464 с.
- [2] Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. *Системы топливоподачи и управления дизелей*. Москва, Изд-во Легион-Автодата, 2005. 344 с.
- [3] Гусаков С.В. *Гибридные силовые установки на основе ДВС*. Москва, Изд-во РУДН, 2008. 207 с.
- [4] Милешкин К. Изменение расхода топлива: под вой барабанов. *За рулем*, 2012, № 5, с. 196–198.
- [5] Карелина М.Ю., Гайдар С.М. Исследование эффективности триботехнических препаратов на основе наноматериалов. *Грузовик*, 2015, № 4, с. 17–29.
- [6] Гусаков С.В., Ахмадния М., Марков В.А. Расчетные исследования двигателя автомобиля, оборудованного электромеханической трансмиссией и силовым аккумулятором. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 5, с. 44–54.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Ворона А.В. К выбору ездового цикла гибридного автомобиля. *Автомобильный транспорт*, 2011, вып. 29, с. 227–230.
- [10] Балабин В.Н. *Регулирование транспортных двигателей отключением части цилиндров*. Москва, УМЦ ЖДТ, 2007. 143 с.

- [11] Vinodh B. Technology for Cylinder Deactivation. *SAE Technical Paper Series*, 2005, № 2005-01-0077, pp. 1–10.
- [12] Кутенев В.Ф. Перспективы совершенствования ДВС. *Двигатель*, 2005, № 6, с. 53–60.
- [13] Ерохов В.И., Николаенко А.В. Применение электрического привода наземного транспортного средства. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2011, № 2, с. 10–16.
- [14] 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.

References

- [1] *Avtomobil'nye dvigateli* [Automobile engines]. Ed. Shatrov M.G. Moscow, Akademiia publ., 2010. 464 p.
- [2] Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. *Sistemy toplivopodachi i upravleniia dizelei* [Fuel system and engine control]. Moscow, Legion-Avtodata publ., 2005. 344 p.
- [3] Gusakov S.V. *Gibridnye silovye ustanovki na osnove DVS* [Hybrid power plants based on internal combustion engines]. Moscow, RUDN publ., 2008. 207 p.
- [4] Mileshkin K. Izmenenie rashkoda topliva: pod voi barabanov [Change in fuel consumption: the beat of drums]. *Za rulem* [Behind the wheel]. 2012, no. 5, pp. 196–198.
- [5] Karelina M.Iu., Gaidar S.M. Issledovanie effektivnosti tribotekhnicheskikh preparatov na osnove nanomaterialov [Research of efficiency of tribotechnical preparations on the basis of nanomaterials]. *Gruzovik* [Truck]. 2015, no. 4, pp. 17–29.
- [6] Gusakov S.V., Akhmadnia M., Markov V.A. Raschetnye issledovaniia dvigatelia avtomobilia, oborudovannogo elektromekhanicheskoi transmissiei i silovym akkumulatorom [A calculation study of an automobile engine equipped with an electromechanical transmission and power battery]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2015, no. 5, pp. 44–54.
- [7] 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.
- [8] Timkov A.N., Ivanov A.S. Raspredelenie tiagovogo i tormoznogo usilii 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.
- [9] 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.
- [10] Balabin V.N. *Regulirovanie transportnykh dvigatelei otkliucheniem chasti tsilindrov* [The regulation of the transport cylinder engine shutdown]. Moscow, UMTs ZhDT publ., 2007. 143 p.
- [11] Vinodh B. Technology for Cylinder Deactivation. *SAE Technical Paper Series*, 2005, no. 2005-01-0077, pp. 1–10.
- [12] Kutenev V.F. Perspektivy sovershenstvovaniia DVS [Prospects for improving the internal combustion engine]. *Dvigatel'* [Engine]. 2005, no. 6, pp. 53–60.
- [13] Erokhov V.I., Nikolaenko A.V. Primenenie elektricheskogo privoda nazemnogo transportnogo sredstva [The use of electric drive land vehicle]. *Transport na al'ternativnom toplive* [Transport Alternative Fuel]. 2011, no. 2, pp. 10–16.
- [14] 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.

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).

АХМАДНИЯ Мохсен (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).

AKHMADNIA Mokhsen (Moscow) — Postgraduate, Department of Combustion Engineering and Power Engines. People's Friendship University of Russia (PFUR) (117198, Moscow, Russian Federation, Miklukho-Maklaya St., Bldg. 6).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышел в свет учебник в 2-х томах
под общей редакцией **В.В. Селиванова**

«Боеприпасы»

В первом томе в систематизированном виде изложена классификация боеприпасов и средств поражения, описаны характеристики эффективности их действия. Дана классификация осколочных, фугасных и кумулятивных боеприпасов, боеприпасов с направленными потоками поражающих элементов и боеприпасов объемного взрыва, а также подробно рассмотрены конструктивно-схемные решения, процессы функционирования и параметры действия указанных боеприпасов.

Во втором томе приведены характеристики эффективности действия рассмотренных в первом томе видов боеприпасов. Изложены основные понятия, принципы применения оружия нелетального действия. Рассмотрены классификация устройств и принципы действия взрывателей (взрывательных устройств) боеприпасов различного назначения, а также общие сведения о средствах иницирования. Описаны конструктивно-схемные решения, процессы функционирования и параметры действия бетонобойных боеприпасов, боеприпасов вспомогательного назначения, а также устройств динамической защиты.

Содержание учебника соответствует курсу лекций, читаемых авторами в МГТУ им. Н. Э. Баумана, а также многочисленным публикациям, посвященным исследованиям и разработкам средств поражения и боеприпасов.

Для студентов и аспирантов технических университетов и машиностроительных вузов, курсантов военных училищ, слушателей и адъюнктов военных академий.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru