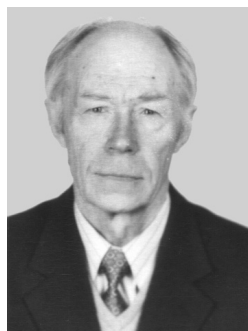
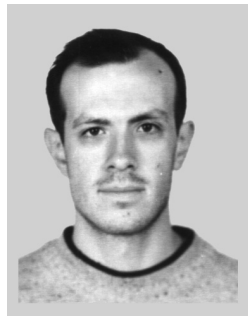


Александр Борисович Фоминых родился в 1938 г., окончил в 1962 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Колесные машины” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 научных работ в области динамики и расчета транспортных машин.



A.B. Fominykh (b. 1938) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1962. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Wheeled Vehicles” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 40 publications in the field of dynamics and design of vehicles.

Александр Игоревич Комиссаров родился в 1977 г., окончил в 2001 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Аспирант кафедры “Колесные машины” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специализируется в области динамики колесных машин.



A.I. Komisarov (b. 1977) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2001. Post-graduate of the “Wheeled Vehicles” department of the Bauman Moscow State Technical University. Specializes in the field of dynamics of wheeled vehicles.

---

УДК 621.43.(075) 629.113

И. В. Леонов, Д. И. Леонов,  
О. В. Головин

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГИБРИДНЫХ МАШИН С ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

*Рассмотрены принципы построения математической модели гибридной машины в цикле “разгон–торможение”, оснащенной двигателем внутреннего сгорания и разгонными электродвигателями. Моделирование показало перспективность метода повышения экономичности гибридных машин в результате применения рекуперации энергии, запасаения ее при торможении и использования при разгоне машины. Приведены данные применения рекуперации энергии других реальных машин.*

Принципы повышения экономичности машин закладываются уже на стадии проектирования, но при проектировании они не так очевидны и совсем не просты в техническом исполнении. Несмотря на различие проектируемых машин, эти принципы носят универсальный характер: 1. Если машина работает в неустановившемся режиме с частым

чередованием периодов разгона и торможения, то увеличение подвижных масс машины приведет к возрастанию потерь накопленной кинетической энергии и затраченной на нее работы двигателя и, тем самым, к снижению общей экономичности цикла;

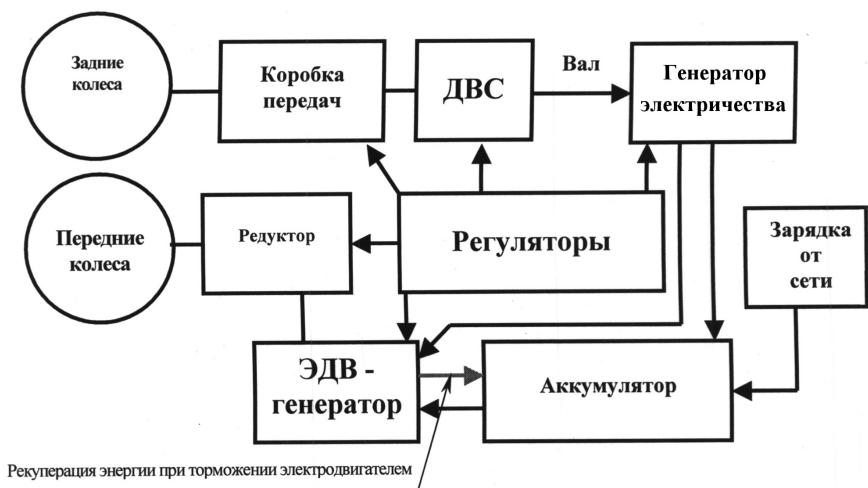
2. Машины с двигателями нескольких типов, так называемые гибридные машины, оснащенные двигателями внутреннего сгорания (ДВС), электродвигателями и устройствами аккумулирования энергии, свободны от этих недостатков. Пиковые потребности в развиваемой мощности могут покрываться за счет аккумулированной энергии, а ДВС может не следовать за переходными режимами в других агрегатах и работать в установившемся экономичном режиме [1];

3. Особое внимание следует уделять выбору номинальной мощности ДВС, экономичность которого непропорционально уменьшается при снижении потребляемой в условиях эксплуатации мощности. Установка на машине ДВС с излишней по сравнению с оптимальной мощностью приведет к перерасходу энергии при эксплуатации [2].

Таким образом, задача обеспечения экономичности машины на стадии проектирования заключается в оптимальном выборе мощности и характеристики двигателя, оптимальном выборе передаточного механизма между двигателем и рабочим органом машины [2].

Перспективным методом повышения экономичности машин является применение рекуперации энергии, запасение ее при торможении и использование при разгоне машины. Целью настоящего исследования является разработка математической модели машины с рекуперацией энергии и определение возможности повышения КПД гибридных машин с ДВС, работающих в наименее экономичном идеализированном цикле “разгон–торможение”. Принципиальная схема гибридного автомобиля с ДВС, выбранная для анализа экономичности цикла “разгон–торможение”, показана на рис. 1. При анализе других условий нагружения более эффективными могут оказаться гибридные установки с параллельно-последовательными схемами.

Значительную часть времени современные машины работают с частым изменением скоростного и нагрузочного режимов, с чередованием режима разгона, кратковременного установившегося режима и периода торможения. Наиболее неблагоприятным является неустановившийся цикл, состоящий из разгона и следующего за ним торможения. Поскольку такой неустановившийся цикл движения машины заканчивается остановкой, то часто предъявляются определенные требования не только ко времени разгона машины, но и ко времени торможения и пути торможения машины, а также к величинам ускорений и нагрузок, с которыми он осуществляется. Для удовлетворения этих требований конструктору приходится проводить динамический расчет, который основан на энергетических соотношениях процессов, протекаю-



**Рис. 1.** Принципиальная схема гибридного автомобиля

щих в машинах при разгоне и торможении.

Рассмотрим энергетические соотношения при разгоне машины. Из приведенного к валу ДВС суммарного момента выделим две составляющие:  $M_{\text{разг.дин}}$  — момент, идущий на ускорение машины и  $M_{\text{уст}}$  — момент, расходуемый на преодоление полезного сопротивления [3]. При расчете моментов примем допущение квазистационарности, считая, что затраченная работа в процессе разгона приблизительно может быть оценена по параметрам установившегося движения:

$$M_{\Sigma\text{разг}} = M_{\text{разг.дин}} + M_{\text{уст}}.$$

Кинетическая энергия в конце разгона  $T_{\text{разг}}$  равна величине запаса кинетической энергии в начале торможения  $T_{\text{нач.торм}}$

$$T_{\text{кон. разг}} = T_{\text{нач. торм}} = \mathfrak{J}_{\Sigma}^{\text{пр}} \omega_{\text{кон}}^2 / 2 = mV_{\text{кон}}^2 / 2,$$

где  $\mathfrak{J}_{\Sigma}$  и  $\omega_{\text{кон}}$  — значения приведенного момента инерции машины и скорости вращения звена приведения в конце разгона;  $m$  и  $V_{\text{кон}}$  — масса и скорость машины в конце разгона.

Для упрощения выводов допустим, что разгон и торможение машины осуществляются при моментах, не зависящих от угловой координаты и скорости звена приведения. Работа, затраченная на ускорение машины  $A_{\text{разг}}$ , связана с величиной запаса кинетической энергии в конце разгона  $T_{\text{разг}}$  и КПД трансмиссии  $\eta_{\text{тр}}$ :

$$T_{\text{разг}} = A_{\text{разг}} = \int_0^{\varphi_{\text{разг}}} (M_{\text{разг.дин}}) \eta_{\text{тр}} d\varphi = M_{\text{разг.дин}} \eta_{\text{тр}} \varphi_{\text{разг}},$$

где  $\varphi_{\text{разг}}$  — угол поворота, т.е. угловой путь, проходимый звеном приведения при разгоне. При постоянном значении момента  $M_{\text{разг.дин}}$  и момента инерции  $\mathfrak{J}_{\Sigma}$  движение является равномерно ускоренным с постоянным угловым ускорением:

$$\varepsilon_{\text{разг}} = M_{\text{разг.дин}} \eta_{\text{тр}} / \mathfrak{J}_{\Sigma}.$$

Время разгона и путь можно оценить по следующим формулам:

$$\tau_{\text{разг}} = \omega_{\text{кон}} / \varepsilon_{\text{разг}} = \omega_{\text{кон}} \mathfrak{J}_{\Sigma} / (M_{\text{разг.дин}} \eta_{\text{тр}});$$

$$\varphi_{\text{разг}} = \varepsilon_{\text{разг}} (\tau_{\text{разг}})^2 / 2 = T_{\text{разг}} / (M_{\text{разг.дин}} \eta_{\text{тр}}).$$

Аналогичные расчеты можно провести при торможении машины, оставляя прежние допущения и принимая, что момент при торможении состоит из динамического тормозного момента  $M_{\text{торм.дин}}$ , управляющего аккумулярованием энергии торможения, и момента сил полезного сопротивления движению  $M_{\text{уст}}$ :

$$M_{\Sigma\text{торм}} = M_{\text{торм.дин}} + M_{\text{уст}}.$$

Можно определить параметры процесса торможения машины — время и путь:

$$\tau_{\text{торм}} = \omega_{\text{кон}} / \varepsilon_{\text{торм}} = \omega_{\text{кон}} \mathfrak{J}_{\Sigma} / M_{\Sigma\text{торм}};$$

$$\varphi_{\text{торм}} = \varepsilon_{\text{торм}} (\tau_{\text{торм}})^2 / 2 = T_{\text{разг}} / M_{\Sigma\text{торм}}.$$

Модуль работы за цикл “торможение”  $[A_{\text{торм}}]$  равен начальному запасу кинетической энергии  $T_{\text{разг}} = [A_{\text{торм}}^{\text{цикл}}]$ :

$$[A_{\text{торм}}] = \int_0^{\varphi_{\text{торм}}} (M_{\Sigma\text{торм}}) d\varphi = \varphi_{\text{торм}} (M_{\text{торм.дин}} + M_{\text{уст}}).$$

Отсюда получим выражение для определения координат так называемого момента переключения с разгона на торможение:

$$M_{\text{разг.дин}} \varphi_{\text{разг}} \eta_{\text{тр}} = (M_{\text{торм.дин}} + M_{\text{уст}}) \varphi_{\text{торм}},$$

где  $M_{\text{разг.дин}}$  и  $M_{\text{торм.дин}}$  — приведенные к валу ДВС движущий и тормозной моменты, изменять которые можно системой управления рекуперацией энергии;  $M_{\text{уст}}$  — момент сил полезного сопротивления движению;  $\varphi_{\text{разг}}$  и  $\varphi_{\text{торм}}$  — углы поворота звена приведения при разгоне и торможении.

В качестве примера моделирования экономичности машин с ДВС рассмотрим метод рекуперации энергии при торможении гибридного автомобиля в цикле “разгон–торможение”. Коэффициент полезного действия представляет критерий экономичности, по которому оценивается машина. Рассматривая экономичность неустановившегося цикла “разгон–торможение”, целесообразно проводить сравнение его с установившимся режимом движения, который наблюдается между ними. Приходя к идеализированному циклу “разгон–торможение”, мы тем самым исключили из рассмотрения промежуточный установившийся режим [3]. Взамен получили квазистационарный режим, состоящий из циклов “разгон” и “торможение”, отличающихся от установившегося режима нулевыми начальными и конечными условиями. Полученный таким образом идеализированный цикл “разгон–торможение” имеет некоторые свойства установившегося режима, так как изменение кинетической энергии за цикл равно нулю. Поэтому к такому типу неустановившегося режима возможно применить оценку КПД. При одинаковых максимальных механических нагрузках на других режимах работы этот цикл имеет экстремальные динамические качества, соответствующие минимальным времени и пути. Однако экономичность такого цикла без рекуперации энергии будет уступать экономичности циклов другой длительности. Цель энергетического расчета — это анализ изменения энергий в цикле “разгон–торможение”, разработка энергетической модели рекуперации энергии и обоснования на этой основе методов снижения расхода энергии путем выбора оптимальных параметров двигателей. В дальнейшем будем оценивать экономичность неустановившегося цикла по сравнению с экономичностью установившегося режима работы.

Неустановившийся цикл начинается с разгона и накопления кинетической энергии машины из-за избыточной работы двигателя по сравнению с потребностями установившегося режима. На установившемся режиме затраты на накопление кинетической энергии за цикл отсутствуют, а эффективность работы оценивается работой полезного сопротивления на соответствующем пути. Используя для определения КПД цикла “разгон–торможение” допущение квазистационарности, будем считать, что на неустановившемся режиме полезно затраченная работа в цикле  $A_{\text{пол}}^{\text{цикл}}$  приближенно может быть оценена по параметрам установившегося движения на одинаковом пройденном пути. Однако нельзя считать, что вся работа на установившемся режиме является полезной. Поэтому необходимо ввести понятие КПД работы машины на установившемся режиме  $\eta_{\text{уст}}$  и сравнивать КПД неустановившегося цикла “разгон–торможение” со значениями  $\eta_{\text{уст}}$ :

$$A_{\text{пол}}^{\text{цикл}} = M_{\text{уст}}(\varphi_{\text{разг}} + \varphi_{\text{торм}})\eta_{\text{уст}}.$$

Торможение не требует работы двигателя, поэтому общая затраченная работа в цикле “разгон–торможение” равна работе двигателя в период разгона:

$$A_{\text{затр}}^{\text{цикл}} = \varphi_{\text{разг}} (M_{\text{разг.дин}} + M_{\text{уст}}) = \varphi_{\text{разг}} M_{\Sigma\text{разг}}.$$

Коэффициент полезного действия цикла без рекуперации энергии торможения можно определить как

$$\eta_{\text{цикла без рек}} = A_{\text{пол}}^{\text{цикл}} / A_{\text{затр}} = \eta_{\text{уст}} (1 + \varphi_{\text{торм}} / \varphi_{\text{разг}}) / k_{\text{м}},$$

где  $M_{\Sigma\text{разг}} = M_{\text{ДВСразг}} + M_{\text{эдв}}$  — суммарный момент всех двигателей (ДВС и электродвигателей), работающих в процессе разгона параллельно;  $k_{\text{м}} = M_{\Sigma\text{разг}} / M_{\text{уст}}$  — отношение суммарного момента в процессе разгона к моменту ДВС на установившемся режиме движения.

В дальнейшем будем сравнивать КПД циклов с различными величинами аккумулированной энергии при торможении и использовании ее в процессе разгона, в результате чего может быть повышен КПД цикла и снижены мощность и момент ДВС в процессе разгона:

$$M_{\text{ДВСразг}} = M_{\text{разг.дин}} - M_{\text{эдв}} + M_{\text{уст}}.$$

При моделировании КПД обеспечивается сравнение циклов, одинаковых по динамичности, с рекуперацией энергии и без нее, с варьированием коэффициента  $k_{\text{торм}} = M_{\text{торм.дин}} / M_{\text{двс}}$ . Предположим, что часть накопленной кинетической энергии машины при торможении может аккумулироваться и будет рекуперирована, т.е. возвращена обратно в виде работы в следующий цикл разгона:

$$T_{\text{акк}} = K_{\text{акк}} \eta_{\text{акк}} T_{\text{разг}},$$

где  $K_{\text{акк}} = A_{\text{рек}}^{\text{цикл}} / T_{\text{разг}}$  — коэффициент рекуперации, показывающий, какая часть кинетической энергии машины возвращается в последующий цикл разгона:

$$A_{\text{рек}}^{\text{цикл}} = T_{\text{акк}} \eta_{\text{трансф}} = M_{\text{торм.дин}} \varphi_{\text{торм}} (\eta_{\text{акк}})^2$$

с потерями, которые оцениваются с помощью КПД трансформации энергии  $\eta_{\text{трансф}} = \eta_{\text{акк}}$  при аккумулировании и рекуперации.

Рекуперированная энергия, возвращенная в цикл в процессе разгона  $A_{\text{рек}}^{\text{цикл}}$ , может быть признана полезной, так как снижает расход топлива ДВС и повышает КПД цикла:

$$\eta_{\text{цикла с рекуп}} = \eta_{\text{цикла без рекуп}} + \Delta \eta_{\text{рекуперацией}},$$

где  $\Delta \eta_{\text{рекуперацией}} = A_{\text{рек}}^{\text{цикл}} / A_{\text{затр}}^{\text{цикл}}$  — приращение КПД цикла “разгон–торможение”.

На величину аккумулируемой энергии при торможении  $T_{\text{акк}}$  должен быть рассчитан накопитель энергии в виде маховичного накопителя кинетической энергии или электрического аккумулятора. Необходимая мощность трансформирующих энергию устройств (электродвигателей, генераторов и аккумуляторов накопителя энергии) может быть определена по величине аккумулируемой энергии и соответствующему времени разгона или торможения:

$$P_{\text{акк}} = T_{\text{акк}}/\tau_{\text{разг}} = K_{\text{акк}} T_{\text{разг}}\eta_{\text{акк}}/\tau_{\text{разг}}.$$

На величину этой мощности  $P_{\text{акк}}$  может быть снижена номинальная установленная мощность ДВС без ущерба для его динамических качеств:

$$P_{\text{ДВС ном}} = M_{\text{ДВСразг}}\omega_{\text{ном}} - P_{\text{акк}}.$$

Оценка повышения экономичности ДВС при увеличении коэффициента загрузки [3] на установившемся режиме работы за счет снижения номинальной установленной мощности [4, 5] дает ощутимый выигрыш в удельном расходе топлива:

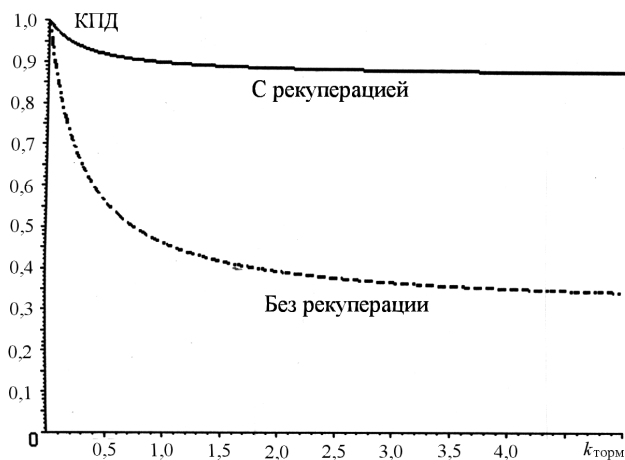
$$\Delta g_e = g_{e \text{ ном}}(P_{\text{эдв}}/P_{\text{уст}}),$$

где  $g_{e \text{ ном}}$  — удельный расход топлива ДВС на номинальном режиме.

По разработанной математической модели была рассчитана экономичность в цикле движения “разгон–торможение” гибридного автомобиля с ДВС и обратимыми электродвигателями со следующими параметрами:  $m = 800$  кг,  $V_{\text{кон}} = 80$  км/ч,  $P_{\text{ДВС ном}} = 60$  кВт.

При моделировании на ЭВМ была выявлена зависимость КПД неустановившегося цикла (рис. 2) от режима торможения, определяемого вариацией коэффициента  $k_{\text{торм}} = M_{\text{торм.дин}}/M_{\text{ДВС}}$ . Анализируя проведенные расчеты выявили, что КПД цикла с рекуперацией энергии (кривая 2) почти в 2 раза больше, чем КПД цикла без рекуперации энергии (кривая 1); КПД цикла без рекуперации энергии повышается при увеличении времени торможения в силу использования накопленной кинетической энергии на преодоление полезного сопротивления и становится максимальным при выбеге машины  $k_{\text{торм}} = (M_{\text{торм.дин}}/M_{\text{ДВС}}) = 0$ . Аналогичная, но очень слабая зависимость имеет место и при рекуперации энергии. Можно даже считать с точностью до 5 %, что КПД цикла без рекуперации энергии остается постоянным, не зависящим от режима торможения при резких торможениях ( $k_{\text{торм}} \geq 0,5$ ). Следует отметить равенство КПД циклов “разгон–торможение”  $\eta_{\text{цикла с рекуп}} = \eta_{\text{цикла без рекуп}}$  при  $k_{\text{торм}} = 0$ . Этот факт свидетельствует о том, что рекуперации энергии в режиме выбега машины не происходит.

Параметры режима разгона в разработанной математической модели оказывают более слабое влияние на КПД цикла, их действие проявляется через влияние сопротивления движению на режим разгона.



**Рис. 2.** Графики зависимости КПД неустановившегося цикла  $k_{\text{торм}} = M_{\text{торм.длин}}/M_{\text{ДВС}}$

Расчеты показывают, что применение рекуперации энергии повышает экономичность машин без ухудшения динамических качеств и без снижения производительности.

В результате моделирования выявили возможность уменьшения расчетной номинальной мощности ДВС на 30 % в силу соответствующего увеличения мощности разгонных электродвигателей и за счет чего можно снизить расчетный удельный расход топлива ДВС на установившемся режиме движения на 13 %. Расчетная емкость рекуперирующих энергию устройств не превышает параметров обычных автомобильных аккумуляторов.

В работах профессора Академии водного транспорта В.И. Толшина [1] при анализе примеров экспериментального использования дизель-генераторов с накопителями энергии инерционного типа, устанавливаемых на подъемных кранах землечерпалок, отмечается снижение расхода топлива судовых дизельных генераторов. Пиковые нагрузки дизельных генераторов, возникающие при отрыве груза от грунта и воды, являются кратковременными, нагрузка ДВС резко снижается при подъеме груза с постоянной скоростью. В экспериментальных судовых установках эти пиковые нагрузки покрываются энергией маховичного накопителя, что позволяет резко уменьшить номинальную мощность дизеля, так как пиковая нагрузка на него значительно снижается. Одновременно увеличивается экономичность дизеля, так как резко увеличивается его коэффициент загрузки, равный отношению используемой в эксплуатации мощности ДВС к номинальной.

На важность работ по созданию гибридных автомобилей указывает и то, что Федеральное правительство и ведущие фирмы США проводят программу развития новых транспортных средств (PNGV). Работы по этой программе определены как перспективное направление



использования гибридных автомобилей. Компания “General Motors” модернизировала и запустила в серийное производство в 1999 г. семейство электромобилей, которые внедрены в дилерскую сеть США. В 2003 г. фирма “Мерседес” представила на автосалоне в Японии готовую к серийному выпуску модель гибридного автомобиля, оснащенного дизель-электрическим двигательным агрегатом [6].

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что точность разработанной математической модели удовлетворяет требованиям начальной стадии проектирования машины. Дальнейшее совершенствование разработанной математической модели следует проводить, вводя в нее реальные характеристики ДВС.

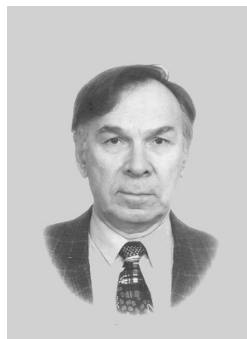
## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г о л ш и н В. И. Форсированные дизели: Переходные режимы, регулирование. – М.: Машиностроение, 1993. – 199 с.
2. Ч у д а к о в Е. А. Теория автомобиля. – М.: Машгиз, 1950. – 343 с.
3. Л е о н о в И. В. Динамика машинного агрегата при неустановившихся режимах движения: Учеб. пособие по курсу “Основы проектирования машин”. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990. – 62 с.
4. Д в и г а т е л и внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / Н.А. Иващенко, В.И. Ивин, С.И. Ефимов и др.; Под общ. Ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
5. К р у т о в В. И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
6. Т и м о ф е е в с к и й А. А. Испытания макетного образца электромобиля с гибридной энергосиловой установкой // Приводная техника. – 1999. – № 9/10.

Статья поступила в редакцию 30.12.2003

Игорь Владимирович Леонов родился в 1937 г., окончил в 1961 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р техн. наук, профессор кафедры “Теория механизмов и машин” МГТУ им. Н.Э. Баумана, почетный зарубежный профессор Хуаджунского университета КНР, награжден дипломом изобретателя первого класса и серебряной медалью Международного Салона промышленной собственности “Архимед-2003”. Автор более 200 научных работ в области управления и проектирования двигателей внутреннего сгорания.

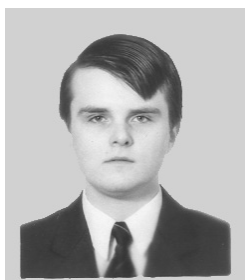
I.V. Leonov (b. 1937) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1961. D. S. (Eng.), professor of “Theory of Mechanisms and Machines” department of the Bauman Moscow State Technical University, Honorable Visiting Professor of Huajung University (China), awarded the Diploma of the First Rate Inventor and decorated with the Silver Medal of the International Salon for Industrial Property “Archimed-2003”. Author of more than 200 publications in the field of control and design of internal combustion engines.





Дмитрий Игоревич Леонов родился в 1969 г., окончил в 1994 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана Канд. техн. наук, ассистент кафедры “Теория механизмов и машин” МГТУ им. Н.Э. Баумана, награжден серебряной медалью Международного Салона промышленной собственности “Архимед-2003” за изобретение комбинированного способа и устройства переработки изношенных автомобильных шин. Автор 20 научных работ в области проектирования механизмов машин.

D.I. Leonov (b. 1969) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 1994. Ph. D. (Eng.), assistant of the “Theory of Mechanisms and Machines” department of the Bauman Moscow State Technical University, decorated with the Silver Medal of the International Salon for Industrial Property “Archimed-2003” for invention of a combined method and device for recycling worn-out car’s tires. Author of 20 publications in the field of design of mechanisms of machines.



Олег Валерьевич Головин родился в 1984 г. Студент МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специализируется в области специального машиностроения.

O.V. Golovin (b. 1984). Student of the Bauman Moscow State Technical University. Specializes in the field of special machinery.

---

## ЖУРНАЛ “ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА имени Н.Э. БАУМАНА”

Журнал издается в трех сериях: “Приборостроение”, “Машиностроение”, “Естественные науки” — с периодичностью 12 номеров в год.

**Подписывайтесь и публикуйтесь!**

**Подписка по каталогу “Газеты, журналы” агентства “Роспечать”**

Индекс	Наименование серии	Объем выпуска	Подписная цена (руб.)	
		Полугодие	3 мес.	6 мес.
72781	“Машиностроение”	2	150	300
72783	“Приборостроение”	2	150	300
79982	“Естественные науки”	2	150	300

Адрес редакции журнала “Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана”: 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5.

Тел.: (095) 263-62-60; 263-60-45.

Факс: (095) 265-42-98; 263-67-07.

E-mail: [press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)