

## ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ (1996–2005 годы)

С.Г. Драгомиров, М.С. Драгомиров;  
Владимирский государственный университет

Анализ тенденций развития автомобильных двигателей внутреннего сгорания за период 1996–2005 гг. показывает, что применение дизелей в мире возрастает и уже достигло 22%.

Компоновочные схемы двигателей предпочтительно рядные и V-образные. Доминирующее положение занимают системы распределенного впрыскивания топлива. Пока небольшую долю, но возросшую за последние годы более чем в 30 раз, составляют системы непосредственного впрыскивания топлива с электронным управлением.

Современные схемы смесеобразования предусматривают использование неразделенных камер сгорания с 4-клапанными головками.

Применение турбонаддува на автомобильных дизелях выросло до 90% всего парка, в то время как парк бензиновых дизелей с наддувом не превышает 10%.

Автомобильные двигатели (как с искровым зажиганием, так и дизели) являются наиболее совершенными среди поршневых двигателей других назначений (тракторных, стационарных, средств малой механизации и др.). Они обладают высокими удельными показателями, развиваются быстрыми темпами и имеют массовый выпуск.

Автомобилестроение является одной из быстро прогрессирующих отраслей индустрии. Мировое производство легковых автомобилей в 2003 г. составило около 45 млн шт., что примерно на 45 % больше, чем 20 лет назад. К началу XXI века общий парк легковых автомобилей в мире превысил 550 млн единиц, увеличившись за последнее десятилетие на 26 % [1]. Значительная доля мирового парка автомобилей (примерно 47 %) приходится на Европу, включая и Россию. В российском автомобилестроении доля производства легковых автомобилей составляет около 83 % — более 1 млн шт. (данные 2003 г.). Аналогичное соотношение характерно и для мировой автомобильной индустрии в целом.

Все это привлекает внимание к настоящему и будущему легкого автомобиля в целом и к развитию автомобильных двигателей в частности. Провести анализ основных тенденций развития двигателей легковых автомобилей за последнее десятилетие можно с помощью компьютерной системы КАД [2].

Анализ относительного количества моделей бензиновых двигателей и дизелей, устанавливаемых на автомобили различных марок, показывает (рис. 1), что число применяемых моделей дизелей на автомобилях за период с 1996 по 2005 г. возросло с 11 до 22 %, т. е. темпы роста применения дизелей в мире довольно стабильны и составляют примерно 1 % в год.

Следует отметить, что распространение легковых автомобилей с дизелями в разных странах не одинаково. Например, в Западной Европе они составляли в 2002 г. в среднем около 40 % всего парка [3], в то время как в США их число пренебрежимо мало.

Обладая более высокой топливной экономичностью по сравнению с бензиновыми двигателями, дизели имеют и известные недостатки. Поэтому вопрос о целесообразности выбора бензинового двигателя или дизеля для легкового автомобиля остается до сих пор дискуссионным и требует комплексного анализа в каждом конкретном случае.

Вполне возможно, что влияние экологических стандартов и требований к топливной экономичности автомобильных двигателей в ближайшие 10–15 лет приведет к сближению в техническом плане бензиновых двигателей и дизелей с одновременным уменьшением разницы в расходах топлива и стоимости производства этих типов двигателей.

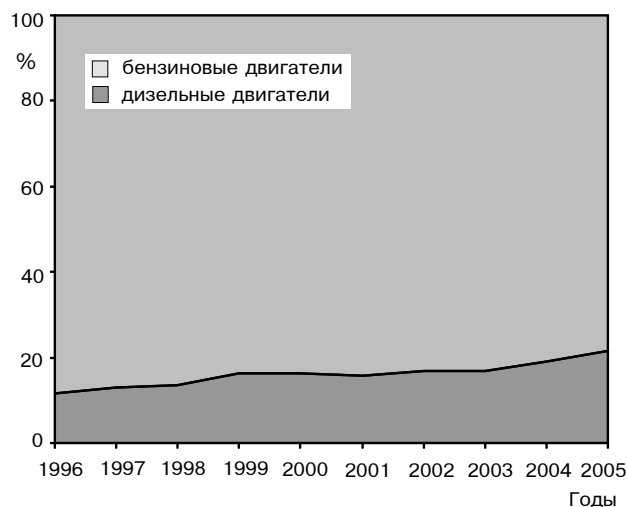
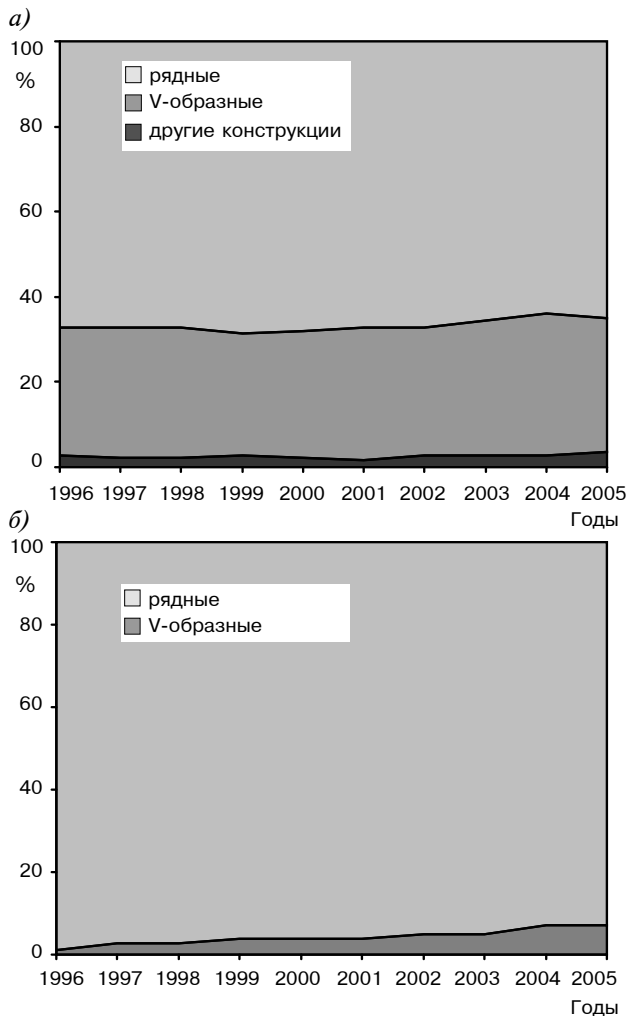


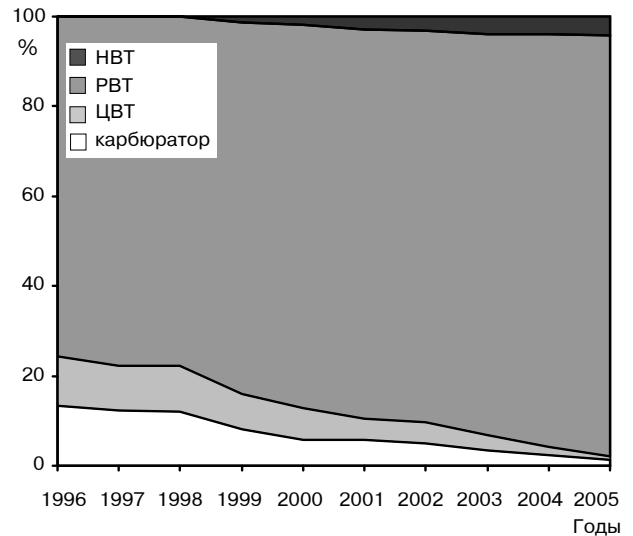
Рис. 1. Относительное количество применяемых на автомобилях моделей дизелей и бензиновых двигателей в период 1996–2005 гг.

Сравнение данных по использованию различных компоновочных схем автомобильных двигателей свидетельствует, что у бензиновых двигателей в последние годы сохраняются довольно устойчивые соотношения между применением рядной, V-образной и оппозитной компоновок (рис. 2, а). Так, в конструкции этих двигателей преобладающее применение находит рядная компоновка (около 67–70 % моделей), затем следует V-образная (примерно 30 %). Оппозитные конструкции используются довольно редко — не более чем у 2,5 % моделей. Нестандартные виды компоновок VR и W исчисляются единицами.

У автомобильных дизелей картина по компоновочным решениям имеет совершенно иной вид (рис. 2, б). В последние годы абсолютное большинство этих двигателей (93–99 %) было построено по рядному принципу, хотя нельзя не отметить, что количество V-образных дизелей несколько росло все это время и в 2005 г. составило уже около 7 % среди всех моделей дизелей. Другие виды компоновок на современных автомобильных дизелях применения не находят.



**Рис. 2. Относительное применение различных компоновочных схем автомобильных бензиновых двигателей (а) и дизелей (б) в 1996–2005 гг.**



**Рис. 3. Относительное применение различных систем топливоподачи в области бензиновых двигателей в 1996–2005 гг.**

На рис. 3 приведены данные по применению различных систем топливоподачи бензиновых двигателей — карбюратора, систем центрального (ЦВТ), распределенного (РВТ) и непосредственного (НВТ) впрыскивания топлива.

Как показывает анализ, доли использования карбюраторов и систем ЦВТ в 2005 г. составили соответственно 1,4 и 0,3 %. Эти данные еще раз подтверждают вывод о том, что эпоха применения карбюратора, как и ЦВТ, в мировом автомобильном двигателестроении практически завершилась. Сегодня явно доминирующее положение занимают системы РВТ — их применение в 2005 г. расширилось до 95 % среди других систем топливоподачи.

На рубеже веков начался новый виток развития систем впрыскивания топлива, основанный на применении принципиально новых электронных систем НВТ. Их использование на современных моделях автомобильных двигателей возросло с 0,1 % в 1998 г. до 3,3 % в 2005 г.

Однако, вопреки прогнозам, распространение этих систем пока происходит не так интенсивно [4, 5]. Причины этого заключаются в высокой сложности и стоимости систем НВТ, несоответствии между прогнозируемыми и достигнутыми показателями двигателей с этими системами, необходимости применения дорогостоящих нейтрализаторов оксидов азота, для надежной работы которых требуется топливо с содержанием серы менее  $10 \text{ млн}^{-1}$ . По оценкам экспертов [6], такие топлива будут производиться в широких масштабах только начиная с 2007 г.

Поэтому у бензиновых двигателей с рабочим объемом менее 1,8 л, где наиболее важными факторами являются простота и невысокая стоимость конструкции, системы РВТ, видимо, получают дальнейшее развитие. При этом возможно

использование регулируемого вихреобразования на впуске, пневматического распыливания топлива и других способов повышения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов.

Для дизелей важнейшим фактором, определяющим показатели рабочего процесса, является применяемая схема смесеобразования. Использование дизелей на легковых автомобилях начиналось с предкамерных и вихрекамерных конструкций (разделенные камеры сгорания). Однако вследствие ряда известных принципиальных недостатков этих схем смесеобразования, а также благодаря прогрессу в области дизелей с неразделенными камерами в последние годы наметилась четкая тенденция к расширению использования непосредственного впрыскивания топлива. Данные на рис. 4 иллюстрируют процесс стремительного развития области автомобильных дизелей к неразделенным камерам сгорания, обеспечивающим более высокую топливную экономичность и пониженную токсичность ОГ.

Так, за последнее десятилетие доля дизелей с неразделенными камерами сгорания увеличилась с 17 % (1996 г.) почти до 91 % (2005 г.). При дальнейшем сохранении этой тенденции через несколько лет абсолютное большинство автомобильных дизелей будет иметь непосредственное впрыскивание топлива.

Этот прогноз полностью согласуется с оценками специалистов фирмы AVL [7], согласно которым в ближайшие годы все автомобильные дизели будут производиться только с неразделенными камерами сгорания.

Под влиянием угрозы истощения нефтяных ресурсов и постоянно ужесточающихся экологических требований к автомобильным двигателям ведущие фирмы мира при создании новых моде-

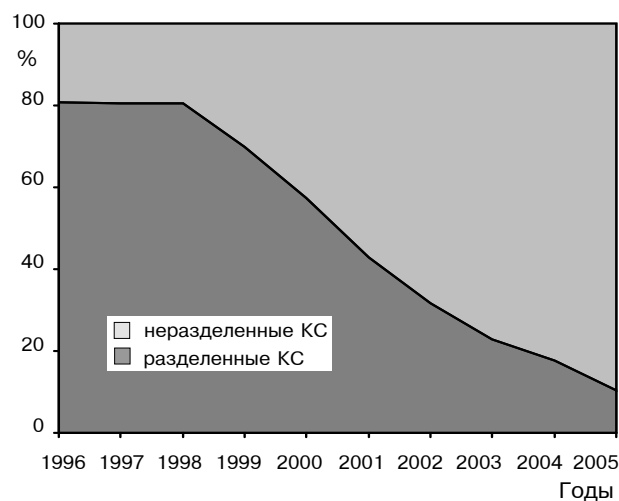


Рис. 4. Относительное применение различных камер сгорания в конструкции автомобильных дизелей в период 1996–2005 гг.

лей в качестве главных приоритетов принимают их высокую топливную экономичность и низкую токсичность. Мощностные показатели находятся сегодня лишь на третьем месте (исключение составляют двигатели спортивных автомобилей).

Именно поэтому, как показывает анализ изменения литровой  $P_L$  (кВт/л) мощности двигателей различных типов, уровень форсирования большинства современных автомобильных двигателей в последние годы находится практически на одном и том же уровне, или изменяется, но незначительно.

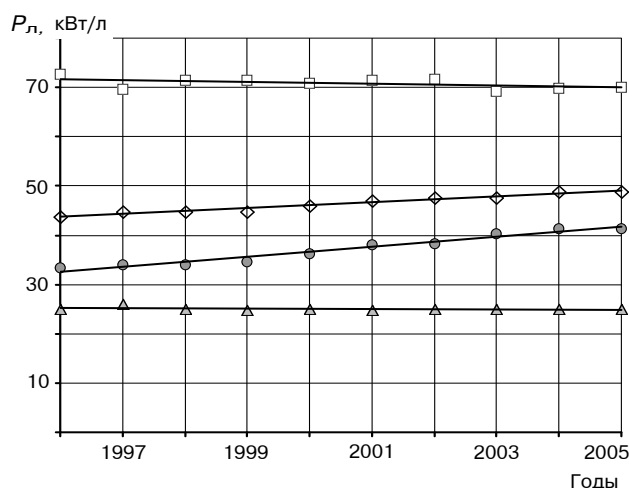
Для определения закономерностей изменения  $P_L$ , (за период 1996–2005 гг.) весь массив данных подвергнулся специальному статистическому анализу [2]. Результаты этого анализа для наддувных и безнаддувных вариантов бензиновых двигателей и дизелей приведены на рис. 5.

У бензиновых двигателей без наддува значения  $P_L$  за последнее десятилетие выросли с 43 до 49 кВт/л. Аналогичный рост наблюдался и у дизелей с наддувом (от 33 кВт/л в 1996 г. до 41 кВт/л в 2005 г.).

Однако у бензиновых двигателей с наддувом и у дизелей без наддува средняя величина  $P_L$  оставалась практически постоянной — соответственно около 70 и 24 кВт/л.

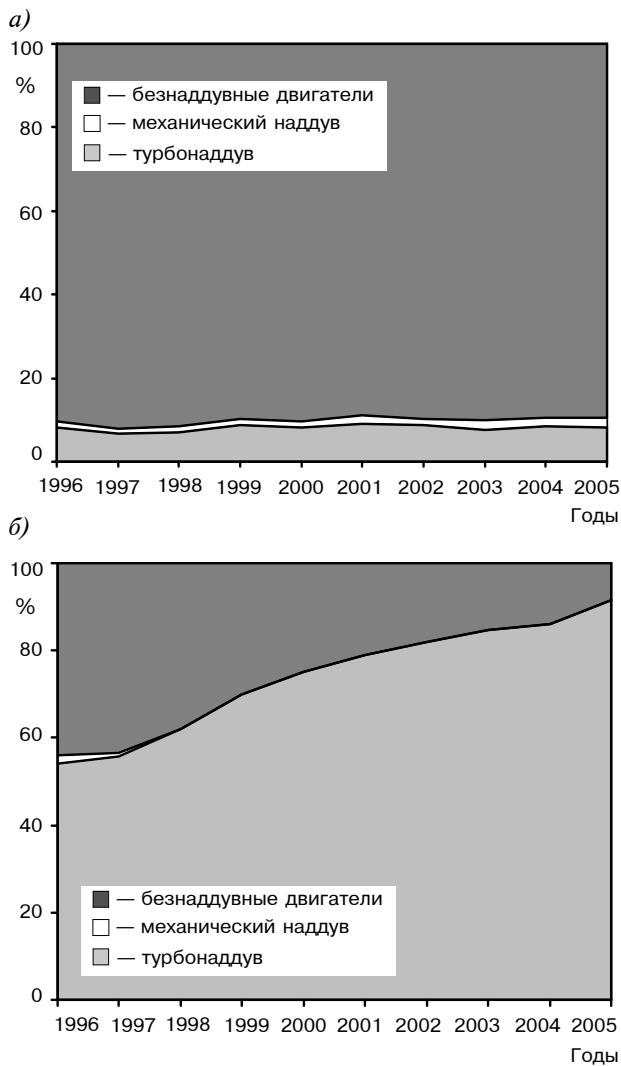
По прогнозам фирмы AVL [7] в первой четверти нового столетия бензиновые двигатели и дизели достигнут величин литровой мощности 70–80 и 50–60 кВт/л соответственно. Очевидно, что такие показатели достигаются применением наддува двигателей.

Анализ данных по использованию различных видов наддува показывает (рис. 6), что у бензиновых двигателей наддув находит ограниченное применение, практически не превышающее 10 %.



Бензиновые двигатели: □ — с наддувом; ○ — без наддува  
Дизельные двигатели: ◇ — с наддувом; △ — без наддува

Рис. 5. Изменение средних значений литровой мощности  $P_L$  наддувных и безнаддувных моделей дизелей и бензиновых двигателей в 1996–2005 гг.

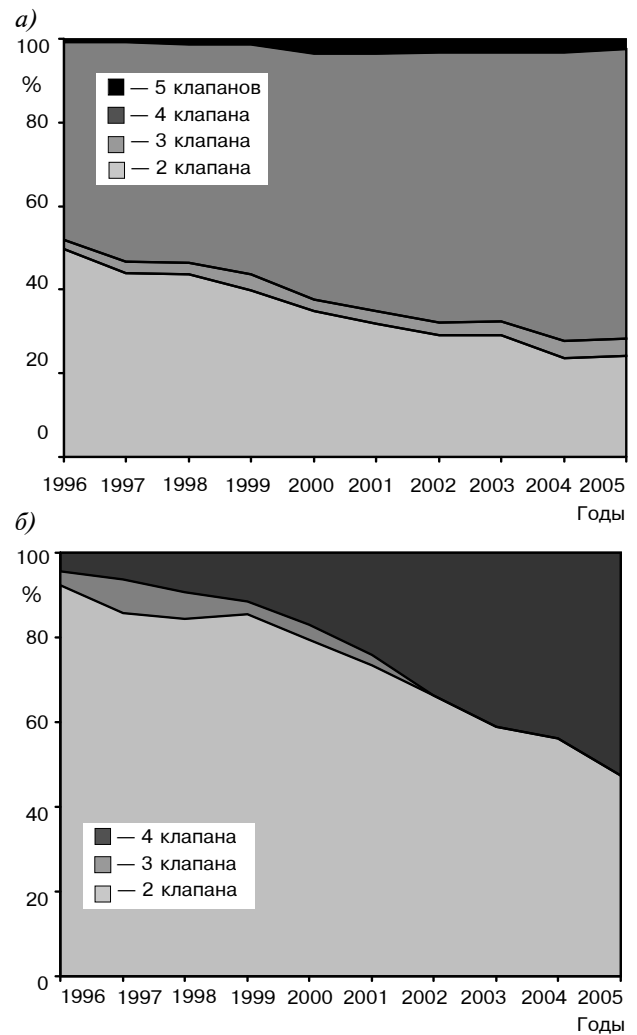


**Рис. 6. Применение различных видов наддува у бензиновых двигателей (а) и дизелей (б)**

При этом механический наддув используется довольно редко, хотя его применение и возрастает с 1 % в 1996 г. до 2,6 % в 2005 г. Остальную долю в секторе наддувных вариантов бензиновых двигателей занимает турбонаддув.

Следует отметить, что практически все двигатели с распределенным впрыскиванием бензина имеют настроенные впускные трубопроводы, обеспечивающие газодинамический наддув. При этом все шире применяются впускные трубопроводы с изменяемой геометрией, позволяющие добиться оптимальной настройки трубопровода на различных эксплуатационных режимах.

У дизелей наддув применяется значительно шире (рис. 6, б) — если в период 1996–1998 гг. около 60 % автомобильных дизелей было оборудовано агрегатами наддува, то в 2005 г. доля наддувных дизелей возросла до 90 %. Отметим, что с 1998 г. на дизелях легковых автомобилей используется только турбонаддув, поскольку механический наддув с этого времени практически перестал применяться.



**Рис. 7 Относительное применение различного количества клапанов на цилиндр у бензиновых двигателей (а) и дизелей (б)**

Для анализа конструкции двигателей важным является применяемое количество клапанов на цилиндр. Данные по использованию различного количества клапанов на цилиндр для бензиновых двигателей и дизелей приведены на рис. 7.

У бензиновых двигателей, несмотря на значительное применение в прошлом 2-х клапанов на цилиндр, использование 4-клапанной схемы неуклонно расширялось, и в настоящее время количество таких конструкций составляет около 70 % всех выпускаемых моделей бензиновых двигателей. Скорее всего, эта ситуация сохранится и в дальнейшем.

Однако следует отметить, что несмотря на указанную тенденцию, ряд ведущих автомобильных фирм мира (Ford, Mercedes-Benz и др.) не отказывается от применения 2-клапанной схемы из-за некоторых позитивных ее особенностей — простоты конструкции клапанного механизма, меньшей суммарной массы клапанов, лучшего наполнения цилиндров при низких частотах вращения вала и благоприятного

протекания кривой крутящего момента в зоне эксплуатационных частот вращения. При этом часто производители двигателей удачно сочетают достоинства 2-клапанной схемы с наддувом или с регулированием механизма газораспределения для формирования необходимой характеристики крутящего момента.

Бензиновые двигатели с тремя клапанами на цилиндр производятся в незначительном количестве и их доля за период 1996–2005 гг. практически не изменялась, стабильно находясь на уровне 2,5–3,5 %.

Использование схемы с 5-ю клапанами на цилиндр наблюдается также редко, хотя их применение и возросло за этот период примерно с 1 до 3 %.

У дизелей за этот же период произошли значительные изменения в применении различного числа клапанов на цилиндр (рис. 7, б). Если в 1996 г. 2-клапанная схема применялась на 93 % автомобильных дизелей, то в 2005 г. доля таких двигателей снизилась до 47 %. При этом одновременно резко расширилось использование 4-клапанных конструкций — с 4 % в 1996 г. до 53 % в 2005 г. Схемы с 3-мя клапанами на цилиндр еще применялись в период 1996–2001 гг. (в пределах 3–8 %), однако с 2002 г. их использование на автомобильных дизелях полностью прекратилось.

Приведенный анализ основных тенденций развития двигателей легковых автомобилей дает общее представление о направлении их эволюции и показывает, что потенциал этих силовых установок еще далеко не исчерпан и их совершенствование непрерывно продолжается.

#### Литература

1. Мир легковых автомобилей: Автокаталог. — М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 1995 — 2004. — Вып. 3. — С. 12.
2. Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С. Информационно-поисковая система по характеристикам современных автомобильных двигателей // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей / Материалы IX Междунар. научно-практ. конф. Владимир, май 2003. — Владимир: Влад. гос. ун-т, 2003. — С. 5–48.
3. Pischinger F.F. The diesel engine for cars — is there a future. 3 Trans. ASME. J. Eng. Gas Turbines and Power. — 1998. — 120, № 3. — P. 641–647.
4. Hack G. DI-Dilemma. — Auto, Mot. Und Sport. — 2002. — № 23. — P. 80–81.
5. Stopp für kleine GDI-Motoren. — Auto, Mot. Und Sport. — 2003. — № 5. — P. 9.
6. Hack G. Auf Sparflamme. — Auto, Mot. Und Sport. — 2002. — № 10. — P. 66.
7. Kudlicza P. Benziner holt gegenüber dem Diesel auf, ohne ihn zu erreichen. — VDI-Nachr. — 2001. — № 40. — P. 20.

**ЮБИЛЕЙ!**

Евгению  
Александровичу  
Григорьеву **85 лет**

22 февраля 2007 года исполнилось 85 лет  
заслуженному деятелю науки и техники РФ,  
действительному члену Академии инженерных наук РФ,  
доктору технических наук,  
профессору Евгению Александровичу Григорьеву



На базе исследований, выполненных Е.А. Григорьевым, на возглавляемой им кафедре «Автотракторные двигатели» Волгоградского государственного технического университета сформировалось научное направление по исследованию колебаний, вибрации и шума двигателей и тракторов. Результатом научных работ, выполненных под его руководством, стали монографии, получившие признание научной общественности страны; была создана авторитетная научная школа.

Свою научную деятельность Е.А. Григорьев успешно сочетает с преподавательской и методической работой. На протяжении многих лет он является членом комиссии по ДВС при Минвузе, членом межотраслевого координационного совета. Под его руководством кафедрой подготовлено более 4 тыс. инженеров, выполнено и защищено 18 кандидатских и одна докторская диссертации.

За свои ратный и многолетний плодотворный мирный труд Е.А. Григорьев награжден боевыми медалями «За отвагу» и «За оборону Сталинграда», орденами Ленина, «Знак Почета» и «Дружбы народов». В 1991 году ему было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РФ».

*Научная общественность ВГТУ и сотрудники кафедры «Автотракторные двигатели» сердечно поздравляют юбиляра, желают ему доброго здоровья и творческого долголетия.*