



Автомобиль и экология: взаимозависимые факторы



Геннадий МОРОЗОВ

Gennady P. MOROZOV

Изучение влияния автотранспортного комплекса на экологию окружающей среды остается неизменной задачей транспортной науки. Меняются и все более ужесточаются требования к уровню загрязнения атмосферы вредными веществами при работе бензиновых и дизельных двигателей, повышаются экологические стандарты на топливо для машин, но даже с учетом очевидных сдвигов в лучшую сторону показатели токсичности выхлопных газов по-прежнему критические. Автор обозначает взаимосвязь экологических и технических факторов, показывает перспективу развития тех инженерных направлений поиска, которые призваны сближать экологические стандарты и возможности новой автомобильной техники.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, экология, двигатель, топливо, окружающая среда, отработавшие газы, загрязнение атмосферы, экологические стандарты, профилактика токсичности выхлопных газов, нейтрализаторы.

Морозов Геннадий Петрович — старший преподаватель Сибирского государственного университета путей сообщения, Новосибирск, Россия.

Растущий автомобильный парк оказывает все большее влияние на загрязнение окружающей среды. В мире автомобили ежегодно потребляют около 2,1 млрд тонн топлива и выбрасывают в атмосферу около 700 млн тонн вредных веществ, в том числе 420 млн тонн окиси углерода (CO), 170 млн тонн несгоревших углеводородов (CH), 60 млн тонн оксидов азота (N_xO_y), 17 млн тонн сажи (C) и 0,6 млн тонн свинца (Pb) (в среднем 1,3 тонны выбросов на один среднестатистический автомобиль в год). В результате доля автомобильного транспорта в общем загрязнении атмосферы в развитых странах достигла 45–50%.

Загрязнение воздуха вредными выбросами автомобилей в конце XX века стало одной из глобальных экологических проблем. Путь ее решения только один — автомобиль *должен* стать экологически чистым, и важное место здесь принадлежит системам нейтрализации, способным в несколько раз снизить токсичность выхлопных газов.

ТОКСИЧНОСТЬ И СТАНДАРТЫ

Загрязнение воздуха отработавшими газами автомобилей (выбросы тепла, пар-

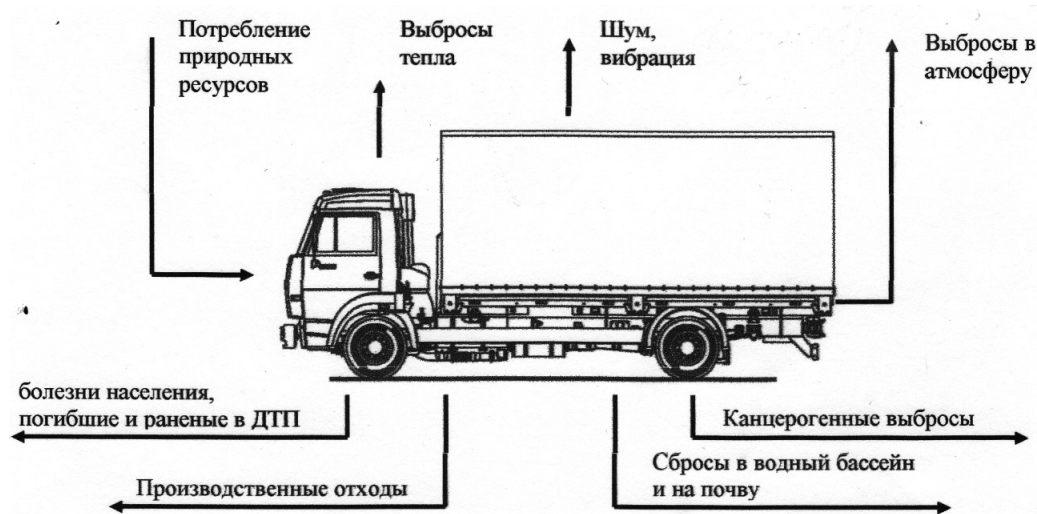


Рис. 1. Влияние автомобилей на экологию и человека.

никовых газов, озоноразрушающих веществ) связано с рядом причин. Основная из них заключается в неполном и неравномерном сгорании топлива. В лучшем случае лишь до половины его расходуется на движение автомобиля, а остальное «летит на ветер». К тому же камеры сгорания автомобильного двигателя — это своеобразный химический реактор, синтезирующий ядовитые вещества и выбрасывающий их в атмосферу.

Из соединений металлов, входящих в состав твердых выбросов автомобилей, наиболее изученными являются соединения свинца. Это обусловлено тем, что свинцовые соединения, поступая в организмы человека и теплокровных животных с водой, воздухом и пищей, оказывают на живые ткани весьма вредное воздействие.

Впрочем, независимо от степени вредности тех или иных выбросов их профилактика ограничена из-за дефицита эффективных средств борьбы, а ужесточение стандартов на топливо пока не достигает в полной мере своих целей.

С 1994 года был введен европейский экологический стандарт, который ограничивает содержание вредных веществ (СО, СН, НС) в выхлопных газах нового автомобиля. Через несколько лет по стандарту Евро-3 уровень окиси углерода (СО) в выхлопе не должен был превышать на тот момент 2,1 г/кВт·ч. В 2005 году он заменен

стандартом Евро-4, который предусматривал СО уже 1,5 г/кВт·ч.

Вместе со стандартами этих лет повысились нормы по топливу: цетановое число для дизельного топлива составило не менее 51 (с 2000 г.); содержание серы — не более 350 ppm (с 2000 г.) и 50 ppm (с 2005 г.); содержание серы в бензине — не более 150 ppm (с 2000 г.) и 50 ppm (с 2005 г.). Бессернистое дизтопливо и бензин (10 ppm S) появились в продаже с 2005 года и стали обязательными с 2009 года.

С 1 сентября 2009 года в 27 странах Евросоюза основополагающим стал стандарт Евро-5, регулирующий содержание вредных веществ в выхлопных газах транспортных средств с дизельными и бензиновыми двигателями. Более жесткие экологические требования касаются новых легковых и полугрузовых машин. С их введением выбросы вредных частиц для дизельных автомобилей снизятся на 80%, в том числе окиси азота — на 20%. Для автомобилей с бензиновыми двигателями допустимую норму выбросов окисей азота и углеводородов снизили на 25%. Нововведение призвано улучшить качество воздуха на континенте и повысить конкурентоспособность европейского автопрома.

Нормы содержания токсичных составляющих в отработавших газах (ОГ) легких коммерческих автомобилей представлены в таблице 1. Начиная с Евро-2 вводятся различные нормы токсичности для дизель-





Таблица 1
Стандарты Евросоюза по токсичности ОГ легких грузовых автомобилей, г/км

Категория*	Нормы токсичности	Дата введения	CO	CH	CH+NO _x	NO _x	Твердые частицы (сажа)
Дизельные							
N₁, Класс I, <1305 кг	Euro 1	окт. 1994	2,72	-	0,97	-	0,14
	Euro 2, IDI	январь 1998	1,0	-	0,70	-	0,08
	Euro 2, DI	январь* 1998	1,0	-	0,90	-	0,10
	Euro 3	январь 2000	0,64	-	0,56	0,50	0,05
	Euro 4	январь 2005	0,50	-	0,30	0,25	0,025
	Euro 5	сентябрь ⁶ 2009	0,50	-	0,23	0,18	0,005 ^А
	Euro 6	сентябрь 2014	0,50	-	0,17	0,08	0,005 ^А
	Euro 1	окт. 1994	5,17	-	1,40	-	0,19
	Euro 2, IDI	январь 1998	1,25	-	1,0	-	0,12
N₁, Класс II, 1305...1760 кг	Euro 2, DI	январь* 1998	1,25	-	1,30	-	0,14
	Euro 3	январь 2001	0,80	-	0,72	0,65	0,07
	Euro 4	январь 2006	0,63	-	0,39	0,33	0,04
	Euro 5	сентябрь* 2010	0,63	-	0,295	0,235	0,005 ^А
	Euro 6	сентябрь 2015	0,63	-	0,195	0,105	0,005 ^А
	Euro 1	окт. 1994	6,90	-	1,70	-	0,25
N₁, Класс III, >1760 кг	Euro 2, IDI	январь 1998	1,5	-	1,20	-	0,17
	Euro 2, DI	январь* 1998	1,5	-	1,6	-	0,20
	Euro 3	январь 2001	0,95	-	0,86	0,78	0,10
	Euro 4	январь 2006	0,74	-	0,46	0,39	0,06
	Euro 5	сентябрь* 2010	0,74	-	0,350	0,280	0,005 ^А
	Euro 6	сентябрь 2015	0,74	-	0,215	0,125	0,005 ^А
Бензиновые							
N₁, Класс I, <1305 кг	Euro 1	окт. 1994	2,72	-	0,97	-	-
	Euro 2	январь 1998	2,2	-	0,50	-	-
	Euro 3	январь 2000	2,3	0,20	-	0,15	-
	Euro 4	январь 2005	1,0	0,1	-	0,08	-
	Euro 5	сентябрь ⁶ 2009	1,0	0,10 [*]	-	0,06	0,005 ^{С, А}
	Euro 6	сентябрь 2014	1,0	0,10 [*]	-	0,06	0,005 ^{С, А}
	Euro 1	окт. 1994	5,17	-	1,40	-	-
N₁, Класс II, 1305...1760 кг	Euro 2	январь 1998	4,0	-	0,65	-	-
	Euro 3	январь 2001	4,17	0,25	-	0,18	-
	Euro 4	январь 2006	1,81	0,13	-	0,10	-
	Euro 5	сентябрь* 2010	1,81	0,13 [™]	-	0,075	0,005 ^{С, А}
	Euro 6	сентябрь 2015	1,81	0,13 [™]	-	0,075	0,005 ^{С, А}
	Euro 1	окт. 1994	6,90	-	1,70	-	-
N₁, Класс III, >1760 кг	Euro 2	январь 1998	5,0	-	0,80	-	-
	Euro 3	январь 2001	5,22	0,29	-	0,21	-
	Euro 4	январь 2006	2,27	0,16	-	0,11	-
	Euro 5	сентябрь* 2010	2,27	0,16 ³	-	0,082	0,005 ^{С, А}
	Euro 6	сентябрь 2015	2,27	0,16 ³	-	0,082	0,005 ^{С, А}

DI – двигатели с непосредственным впрыском; IDI – предкамерные двигатели.

* – до 30 сентября 1999 г. (после этой даты двигатели с непосредственным впрыском (DI) должны будут соответствовать нормам для предкамерных двигателей (IDI); ⁶ – январь 2011 г. для всех моделей; ⁸ – январь 2012 г. для всех моделей; ⁹ – применимо только к автомобилям с двигателями с непосредственным впрыском; ^А – предполагается изменить на 0,003 г/км, используя методику испытаний RMP; ^С – и методику NMHC=0,068 г/км; [™] – и методику NMHC=0,090 г/км; ³ – и методику NMHC=0,108 г/км.

^А Для Euro 1/2 классы по массе, соответствующие категории N₁: Класс I <1250 кг, Класс II 1250...1700 кг, Класс III >1700 кг.

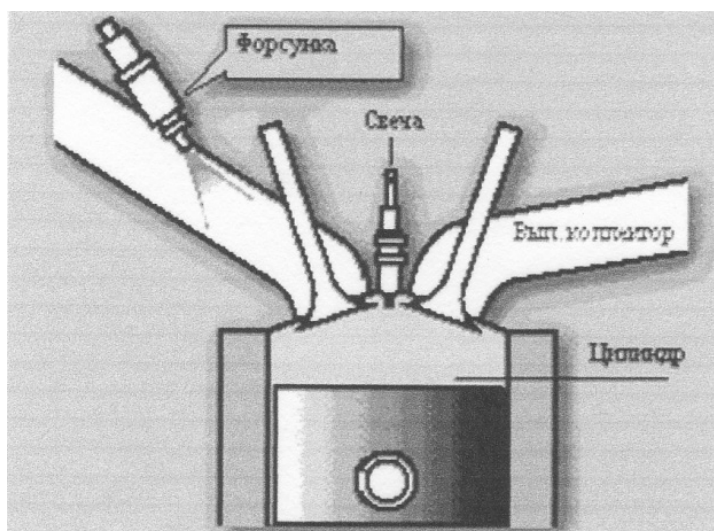


Рис. 2.

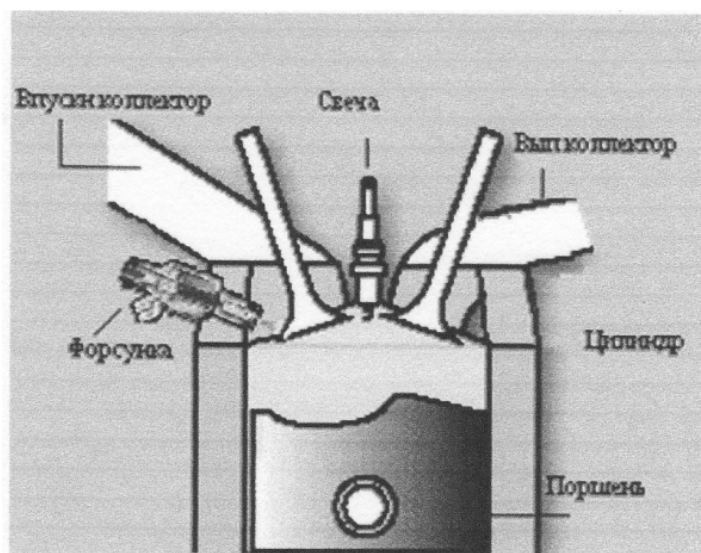


Рис. 3.

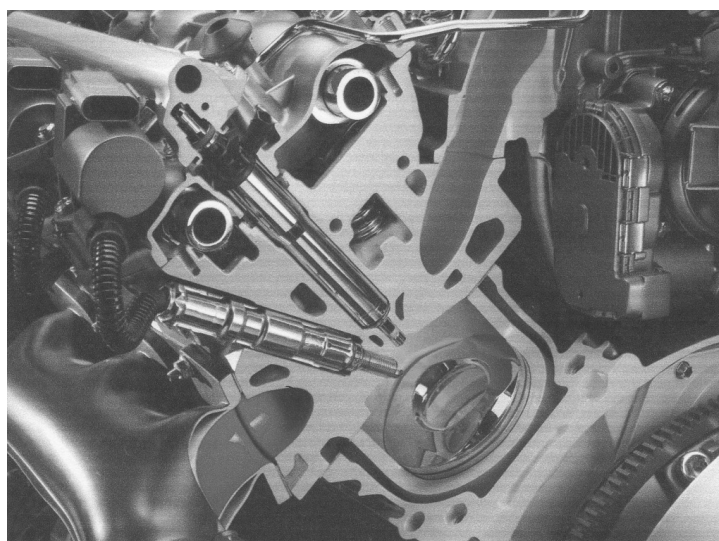


Рис. 4. Пример двигателя с непосредственным впрыском топлива.



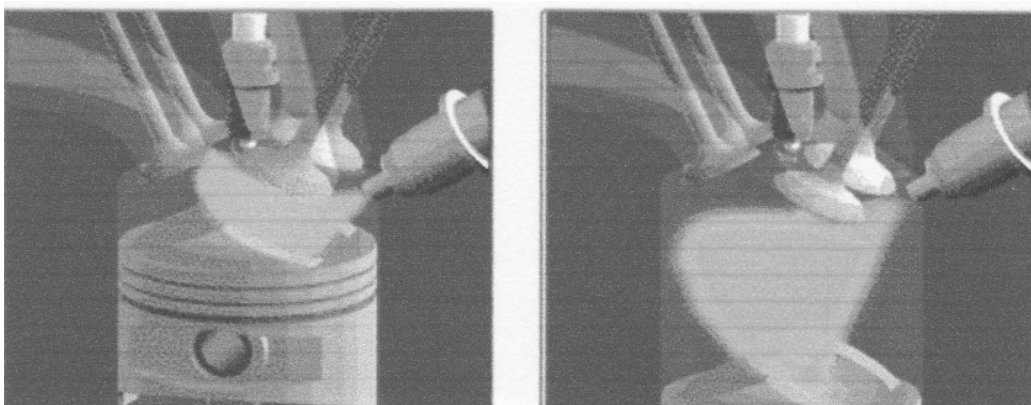


Рис. 5.

ных и бензиновых двигателей. Для дизельных были установлены более жесткие рамки на содержание CO , но допускалось более высокое содержание N_xO_y . У бензиновых автомобилей не ограничивалось содержание сажи до норм Еуро-4 включительно. В Еуро-5/6 предусматриваются свои нормы по массе твердых частиц в ОГ бензиновых двигателей. Количественные значения равны для автомашин с дизельными двигателями и бензиновыми с непосредственным впрыском.

Сроки эксплуатации автомобилей, в течение которых должен сохраняться уровень токсичности ОГ, составляют:

- Еуро-3 — 80000 км пробега, или 5 лет (в зависимости от того, что наступит раньше); вместо фактического испытательного пробега производители могут использовать следующие коэффициенты ухудшения: 1,2 для CO , CH , N_xO_y (бензин) или 1,1 для CO , N_xO_y , CH^+ и 1,2 для твердых частиц (дизель);
- Еуро-4 — 100000 км, или 5 лет (в зависимости от того, что наступит раньше);
- Еуро-5/6 — при соответствующих условиях эксплуатации: 100000 км, или 5 лет; проверка надежности сохранения качества работы устройств снижения токсичности ОГ для одобрения типа транспор-

тного средства: 160000 км, или 5 лет (в зависимости от того, что наступит раньше).

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

В последние годы разрабатываются и претворяются в жизнь мероприятия по снижению загрязнения атмосферы выбросами автомобильных двигателей, включающие в себя:

- усовершенствование конструкций двигателей и повышение качества их изготовления;
- поиск новых видов топлива, применение различных присадок к нему;
- создание энергосиловых установок для автомобилей, выбрасывающих меньшее количество вредных веществ;
- производство устройств, снижающих содержание вредных компонентов в отработавших газах.

В рамках общей стратегии формируются свои более частные направления.

1. Применение инжекторов взамен карбюраторов.
2. Благодаря модифицированной конфигурации впускного коллектора и рационального расположения топливных форсунок используется топливно-воздушная смесь обедненного состава практически без ущерба для мощности и динамических

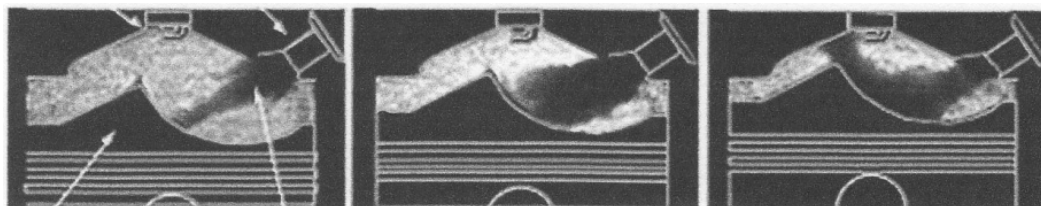


Рис. 6.

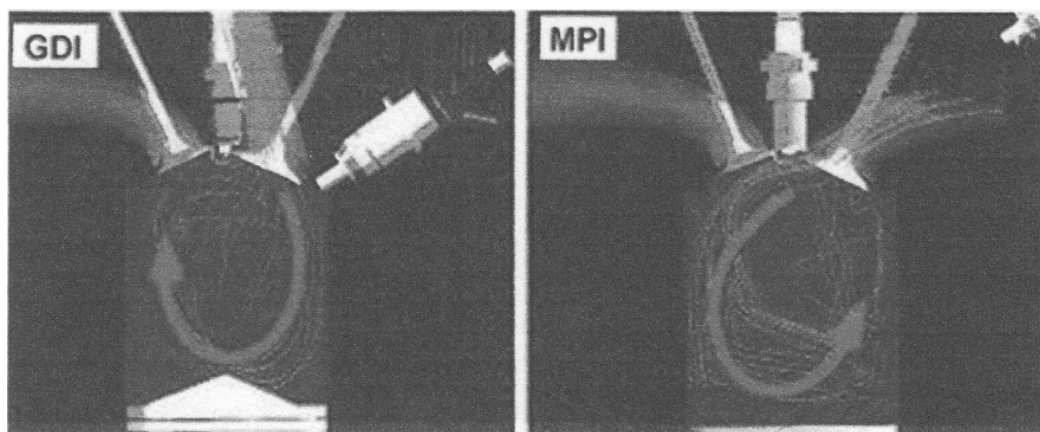


Рис. 7.

показателей двигателя. Эта система повышает топливную экономичность и существенно снижает токсичность отработавших газов. За счет подачи топлива непосредственно перед впускным клапаном достигается более эффективное его использование и уменьшение «потерь». Визуальное различие между двигателями с обычной и обедненной смесью заключается в расположении форсунок: в обычном двигателе они находятся во впускном коллекторе (рис.2), тогда как в двигателе с обедненной смесью — в головке цилиндров (рис.3).

3. Двигатели с непосредственным впрыском (MMC — GDI (30–40:1); PSA — Hpi (30:1); Nissan-Neo DI; Toyota — D4 (до 50:1)).

Лидером в разработке двигателей GDI явилась Mitsubishi Motors Corp. Первый концепт с таким двигателем (Gasoline Direct Injection) был представлен в 1995 году, а уже в следующем он пошел в серию на модели Galant/Legnum.

Двигатель GDI может работать в режиме сгорания сверхобедненной топливо-воздушной смеси: соотношение воздуха и топлива по массе (коэффициент) до 30–40:1. На двигателе распыленное топливо находится в ограниченном объеме в виде облака, сосредоточенного в районе свечи зажигания. Поэтому, хотя в целом смесь переобедненная, у свечи зажигания она близка к стехиометрическому составу и легко воспламеняется. В то же время обедненная смесь в остальном объеме имеет намного меньшую склонность к детонации, чем стехиометрическая. Последнее обстоятельство позволяет повысить сте-

пень сжатия, а значит, увеличить и мощность, и крутящий момент.

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОТЛИЧИЯ GDI

1. Топливный насос высокого давления (ТНВД). Механический насос (подобный ТНВД дизельного двигателя) развивает давление в 50 бар (у инжекторного двигателя электронасос в баке создает в магистрали давление около 3–3,5 бар).

2. Форсунки. Вихревые распылители создают различную форму топливного факела. На мощностном режиме — факел конический, в режиме сгорания бедной смеси — узкий, посредством поршня в таком виде он и направляется к свече зажигания (рис. 5).

3. Поршень. В днище особой формы сделана выемка, при помощи которой топливо-воздушная смесь направляется в район свечи зажигания (рис. 6).

4. Впускные каналы. На двигателе GDI применены вертикальные впускные каналы, которые обеспечивают формирование в цилиндре «обратного вихря», направляя топливовоздушную смесь к свече и улучшая наполнение цилиндров воздухом (у обычного двигателя вихрь в цилиндре закручен в противоположную сторону), что демонстрирует рис. 7.

5. Рециркуляция отработавших газов. Направление части отработавших газов обратно в камеру сгорания (рециркуляция) применяется для уменьшения температуры сгорания смеси с целью снижения образования оксидов азота при расходе топлива. Однако этим снижается и мощность дви-



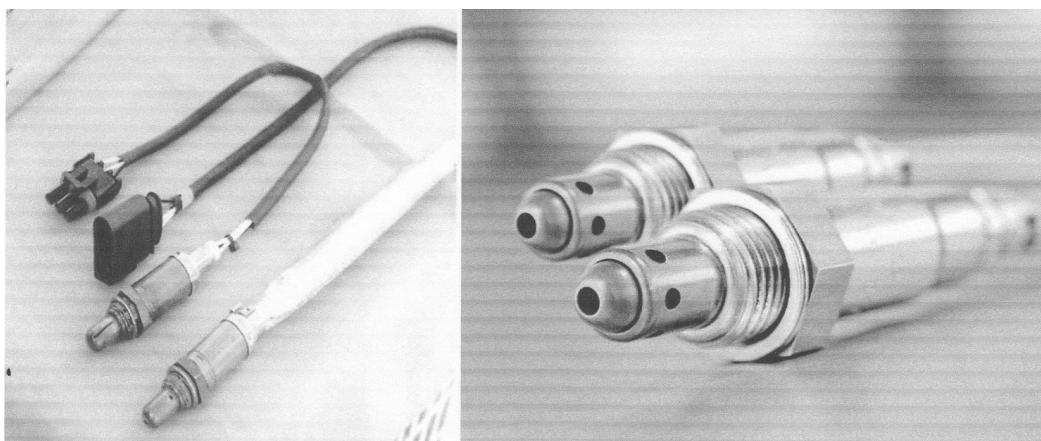


Рис. 8.



Рис. 9. Лямбда-зонды от Bosch.

гателя. Рециркуляция отработавших газов (система EGR) реализуется двумя способами: 1) внутренней рециркуляцией, обеспечиваемой управлением фазами газораспределения, и в первую очередь перекрытием клапанов (двигатели 1AZ-FSE и 2AZ-FSE); 2) внешней рециркуляцией, при которой отработавшие газы забираются на выходе из выпускного коллектора и через систему клапанов направляются обратно в камеру сгорания.

6. Вентиляция картера двигателя. Поскольку токсичность картерных газов многократно выше отработавших, их выпуск в атмосферу запрещён. При работе двигателя картерные газы системой вентиляции перепускают во впускной тракт, где они смешиваются с рабочими газами и на такте впуска поступают в цилиндр для последующего дожигания.

7. Термическое дожигание отработавших газов. Дожигание компонентов, которые не сгорели в цилиндре двигателя,

происходит в выпускной системе, куда специальным нагнетателем подают дополнительный воздух, необходимый для завершения реакции. С развитием систем каталитической очистки отработавших газов термическое дожигание используется уже не столь широко, как ранее.

8. Каталитическое дожигание. Дожигание компонентов отработавших газов происходит в специальном приборе — каталитическом нейтрализаторе. Он монтируется в системе выпуска отработавших газов и размещается под днищем автомобиля. В корпусе нейтрализатора имеется керамический блок, на который наносится покрытие из каталитического материала (металлы Pt, Rh, Rd).

Нейтрализаторы окислительного типа осуществляют окисление CO и CH за счёт остаточного кислорода в обеднённых смесях или подачи в систему дополнительного воздуха; восстановительного типа — восстанавливают N_xO_y до безвредного азота. Двухкомпонентные нейтрализаторы объединяют в себе оба этих типа.

Трёхкомпонентные нейтрализаторы (селективные каталитические) с λ -зондом являются наиболее распространённой и эффективной системой очистки отработавших газов. Кислородный датчик (λ -зонд) системы используется для расчета соотношения воздуха и топлива в горючей смеси.

9. Системы с обратной связью (λ -регулирование). Такая система обеспечивает нейтрализацию до 96% вредных веществ в отработавших газах. В ней два кислородных датчика. Один устанавлива-

ется перед каталитическим нейтрализатором, другой — после него. Датчики, измеряя количество свободного кислорода в отработавших газах, через систему управления подачей топлива влияют на состав топливовоздушной смеси, поступающей в цилиндры двигателя. Для обеспечения соответствующей очистки отработавших газов нейтрализатором двигатель должен работать в узком диапазоне значений $\lambda = 1 \pm 0,005$, называемом «окном» каталитического нейтрализатора.

Новый ADV лямбда-зонд отличается расширенным диапазоном измерения (рис. 9 — на переднем плане). Он может измерить соотношение масс воздуха и топлива, начиная от 0,65. Среди преимуществ подобных зондов выделяют более высокую термоустойчивость, сокращенное время реакции (менее 30 миллисекунд) и более высокую точность сигнала. Малое время выхода на рабочий режим (прогрев), составляющее менее пяти секунд, позволяет снизить выброс вредных веществ. Высокая динамика зонда дает возможность регулировать смесеобразование индивидуально для каждого цилиндра двигателя. За счет

этого поток выхлопных газов становится однородным, что не только снижает выброс вредных веществ, но и благоприятствует сохранению показателей их эмиссии в течение длительного срока службы системы. Датчик сделан таким образом, чтобы сохранять его работоспособность на весь установленный регламентом период существования транспортного средства. Такие зонды хорошо диагностируются, поэтому если при его эксплуатации возникают неисправности, то они легко определяются и устраняются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сарбаев В. И., Селиванов С. С., Коноплев В. Н., Демин Ю. Н. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: механизация и экологическая безопасность производственных процессов. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. — 380 с.
2. Богданов С. Н., Буренков М. М., Иванов И. Е. Автомобильные двигатели. — М.: Машиностроение, 1987. — 368 с.
3. Стуканов В. А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля. — М.: Форум-Инфра-М, 2004. — 368 с.
4. Хачиян А. С., Морозов К. А., Луканин В. Н., Трусов В. И., Багиров Д. Д., Корси Е. К. Двигатели внутреннего сгорания. — М.: Высшая школа, 1985. — 311 с.

MOTOR VEHICLE AND ECOLOGY: INTERDEPENDENT FACTORS

Morozov, Gennady P. — senior lecturer of Siberian State University of Railway Engineering, Novosibirsk, Russia.

The studies on the impacts of motor cars on the environment are one of the permanent tasks of transport sciences. There is an on-going process of changing and toughening of the requirements for the level of air pollution by harmful substances of diesel and petrol engines. Ecological standards concerning motor fuel are becoming higher. But even

taking into consideration all positive changes, the indices of exhaust fume are still critical. The author shows the interdependence between ecological and engineering factors, argues in favor of promising directions of engineering research that are deemed to make closer the new ecological standards and the new capacities of road vehicles.

Key words: motor road transport, ecology, engine, fuel, environment, exhaust fume, air pollution, ecological standards, prevention of toxic exhaust emission, neutralizers.

REFERENCES

1. Sarbaev V. I., Selivanov S. S., Konoplev V. N., Demin. Yu. N. Technical maintenance and repairs of motor cars: mechanization and ecological safety of industrial processes [*Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobiley: mehanizatsiya i ekologicheskaya bezopasnost proizvodstvennykh protsessov*]. Rostov-on-Don, Fenix publ., 2004, 380 p.
2. Bogdanov S. N., Burenkov M. M., Ivanov I. E. Motor car engines [*Avtomobilnye dvigateli*].

Moscow, Mashinostroenie publ, 1987, 368 p.

3. Stukanov V. A. The grounds of the theory of motor car engines [*Osnovy teorii avtomobilnykh dvigateley i avtomobilya*]. Moscow, Forum-Infra-M publ., 2004, 368 p.

4. Hachiyani A. S., Morozov K. A., Lukanin V. N., Trusov V. I., Bagirov D. D., Korsi E. K. Internal combustion engines [*Dvigateli vnutrennego sgoraniya*]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1985, 311 p.

Координаты автора (contact information): Морозов Г. П. (Morozov G. P.) — ter@stu.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 08.11.2012
Принята к публикации / article accepted 22.12.2012

