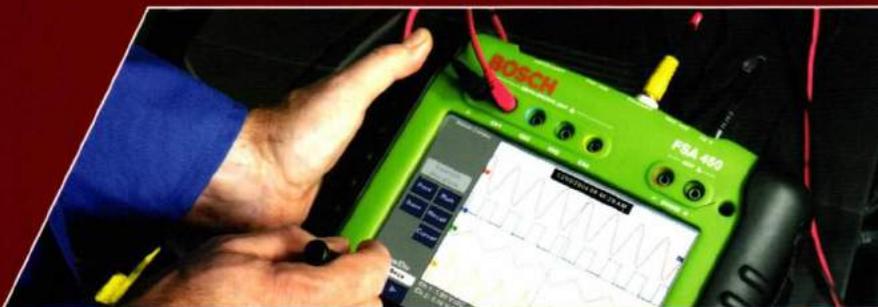


Уве Рокош

БОРТОВАЯ ДИАГНОСТИКА



- Системы бортовой диагностики для автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями
- Процессы сгорания и выбросы вредных веществ в двигателях
- Конструкции каталитических нейтрализаторов отработавших газов
- Нормы выбросов вредных веществ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Зарулем

Уве Рокош

Бортовая диагностика

Перевод с немецкого

Uwe Rokosch

On-Board-Diagnose

 **VOGEL**

ОК 005-93, т. 2; 953750
УДК 629.113.004.58
ББК 39.35
Р66

Уве Рокош

Р66 Бортовая диагностика. Перевод с нем. ООО «СтарСПб». – М.: ООО «Издательство «За рулем», 2013. – 224 с. : ил.

ISBN 978-5-903813-07-0

В книге описаны современные системы компьютерной бортовой диагностики автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями, рассмотрены вопросы образования вредных веществ в отработавших газах и способы борьбы с ними. Данная книга предназначена для специалистов по ремонту и обслуживанию автомобилей и учащихся профильных учебных заведений.

Редакция и/или издатель не несут ответственности за несчастные случаи, травматизм и повреждения техники, произошедшие в результате использования данного издания, а также за изменения, внесенные в конструкцию заводами-изготовителями. Воспроизведение в любой форме настоящего издания или любой его части запрещается без предварительного разрешения обладателя авторских прав.

УДК 629.113.004.58
ББК 39.35

© Copyright of the Original German Language edition by Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Wurzburg (Germany). All Rights Reserved.

ISBN 978-5-903813-07-0

© ООО «Издательство «За рулем», перевод на русский язык, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Введение	9
1. История развития	11
1.1. 100 лет моторостроения — сравнительный анализ	11
1.2. Мощность современных двигателей и их системы управления	13
2. Законодательство в сфере регулирования токсичности ОГ	16
2.1. Мировая практика	16
2.2. Европейские нормы токсичности ОГ	19
2.3. График ввода норм Евро-4 и выше	22
2.4. Европейский цикл движения NEDC для типовых испытаний	23
2.4.1. <i>Определение потерь на испарение</i>	26
2.4.2. <i>Анализ ОГ по методу CVS</i>	27
2.5. Обязательства автопромышленности по снижению расхода топлива и выбросов CO ₂	30
3. Компоненты выхлопа двигателей внутреннего сгорания	33
3.1. Вредные вещества	33
3.2. Оксид углерода (CO)	34
3.3. Углеводороды (CH)	34
3.4. Окислы азота (NO _x)	34
3.5. Оксиды серы (SO _x)	35
3.6. Сероводород (H ₂ S)	35
3.7. Аммиак (NH ₃)	35
3.8. Сажа и частицы	36
3.9. Мелкая пыль	37
3.10. Синий и белый дым	38
3.11. Углекислый газ (CO ₂)	38
4. Организация процесса сгорания и выбросы вредных веществ в бензиновых двигателях	40
4.1. Общие требования	40
4.2. Коэффициент избытка воздуха	40
4.3. Коэффициент избытка воздуха и выбросы вредных веществ бензиновыми двигателями	42
4.4. Меры по снижению вредных выбросов, образующихся при работе бензиновых двигателей	44
5. Процесс сгорания дизельного топлива и выбросы вредных веществ при работе дизельных двигателей	48
5.1. Сгорание дизельного топлива	48
5.2. Впускной винтовой канал и ротация воздуха	50
5.3. Процесс сгорания в дизельном двигателе	50
5.3.1. <i>Факторы, влияющие на запаздывание воспламенения</i>	51
5.3.2. <i>Образование смеси и сгорание в дизельном двигателе</i>	52
5.3.3. <i>Управление впрыском в современных дизельных двигателях</i>	54
5.3.4. <i>Адаптация впрыска в современных дизельных двигателях</i>	56

5.4. Коэффициент избытка воздуха и выбросы вредных веществ в дизельных двигателях	57
5.5. Меры по снижению вредных выбросов и сажи	58
5.6. Перспективные разработки для двигателей внутреннего сгорания	59
5.6.1. Непосредственный пьезовпрыск (PDI)	59
5.6.2. Новые способы организации сгорания для прямого впрыска бензина	62
5.6.3. Перспективные системы впрыска для дизельных двигателей	63
6. Каталитические нейтрализаторы (катализаторы)	66
6.1. Основные типы катализаторов	66
6.2. Конструкция катализаторов	67
6.2.1. Сравнение керамических и металлических катализаторов	69
6.2.2. Ресурсы благородных металлов для катализаторов	69
6.2.3. Химические процессы в катализаторе	70
6.2.4. Конверсионные характеристики нового катализатора OF	71
6.3. Условия эксплуатации катализаторов	71
6.4. Катализаторы для бензиновых двигателей	72
6.4.1. Окислительный катализатор	72
6.4.2. Трехкомпонентный катализатор (тройного действия)	73
6.4.3. Требования к новым концепциям катализаторов	74
6.4.4. Катализаторы, расположенные рядом с двигателем	75
6.4.5. Безопасная система	76
6.4.6. Катализатор с электрообогревом	77
6.4.7. Накопительный катализатор — SCR-катализатор	78
6.4.8. Непрерывно работающие катализаторы восстановления	79
6.4.9. Прерывисто работающие катализаторы восстановления	80
6.5. Катализаторы для дизельных двигателей	81
6.5.1. Дизельный катализатор	81
6.5.2. SCR-катализатор (Катализатор с селективным каталитическим восстановлением)	82
6.5.3. Прочие системы катализаторов для дизельных двигателей	85
7. Лямбда-регулирование и лямбда-зонды	87
7.1. Циркониевый зонд или зонд напряжения	88
7.2. Зонд из диоксида титана или резистивный зонд	89
7.3. Широкополосный лямбда-зонд или универсальный лямбда-зонд (LSU)	91
7.4. Датчик оксидов азота или двухкамерный датчик	92
7.5. Диагностика лямбда-зондов	94
8. Системы фильтрации частиц	98
8.1. Системы фильтрации частиц для дизельных двигателей легковых автомобилей	99
8.1.1. Сажевый фильтр FAP от Peugeot	101
8.1.2. Сажевый фильтр Bosch	103
8.1.3. Системы фильтрации частиц у VW и Audi	104
8.1.4. Сажевый фильтр от BMW	105
8.1.5. Катализатор D-CAT от Toyota	106
8.2. Системы улавливания сажи для дизельных двигателей грузовиков	107
8.2.1. Система CRT	109
8.2.2. Технология SCR-AC	110

8.2.3. Перспективные сложные системы очистки ОГ дизельных двигателей	111
8.3. Условия восстановления для сажевых фильтров	111
8.3.1. Сравнение достижимых температур ОГ в различных системах	111
8.3.2. Естественное восстановление в фильтре	113
8.3.3. Определение степени загрязнения сажевого фильтра	113
8.3.4. Контрольная лампа и поездки преимущественно на короткие расстояния	115
8.3.5. Особенности использования сажевых фильтров	116
9. Бортовая диагностика (OBD)	118
9.1. История OBD I и OBD II	118
9.2. Требования к системам OBD	119
9.2.1. Общие требования к OBD	120
9.2.2. Защита от манипуляций с OBD	122
9.2.3. Устранение неисправностей в OBD	122
9.2.4. Условия отключения для OBD	125
9.2.5. Стандартизированный интерфейс OBD	126
9.2.6. Подключение к интерфейсу OBD	127
9.3. Систематика кодов неисправностей OBD	129
9.3.1. Данные Freeze Frame	131
9.3.2. Код готовности	131
9.4. Объем функций уровней проверки в OBD	134
10. Система OBD в бензиновых двигателях	137
10.1. Основная конструкция системы OBD	137
10.2. Распознавание пропусков зажигания	138
10.2.1. Метод неплавности хода	139
10.2.2. Метод анализа момента	140
10.3. Контроль работы катализатора	141
10.4. Контроль работы лямбда-зондов	142
10.4.1. Контроль управляющего зонда	142
10.4.2. Контроль диагностического зонда	143
10.4.3. Диагностика обогрева лямбда-зонда	144
10.4.4. Диагностика широкополосного лямбда-зонда	144
10.5. Контроль рециркуляции ОГ	145
10.6. Контроль вентиляции бака	146
10.7. Контроль системы впуска добавочного воздуха	147
10.8. Контроль топливной системы	148
10.9. Коррекция регулировки топливовоздушной смеси	150
10.10. Контроль функции E-Gas	151
10.11. Диагностика термостата	154
10.12. Контроль CAN — шины	154
10.13. Контроль прочих систем и отдельных датчиков	155
10.13.1. Контроль давления наддува	156
10.13.2. Контроль сигнала скорости	156
10.13.3. Контроль датчика массового расхода воздуха	156
10.13.4. Контроль выключателя сигналов торможения и педали сцепления	157
10.13.5. Контроль положения распределительного вала	157

11. Системы OBD для дизельных двигателей (D-OBD)	159
11.1. Контролируемые системы и датчики D-OBD.....	159
11.2. Распознавание пропусков сгорания в D-OBD.....	161
11.3. Смещение начала впрыска (только двигатели с насосом распределительного типа).....	162
11.4. Контроль рециркуляции ОГ	163
11.4.1. Отклонение параметров рециркуляции ОГ (рециркуляция с пневматическим клапаном).....	163
11.4.2. Регулировка положения в системе рециркуляции ОГ (рециркуляция с электрическим клапаном)	163
11.5. Отклонение давления наддува.....	164
11.6. Система преднакала	165
11.7. Контроль прочих систем и отдельных датчиков	165
11.7.1. Диагностика CAN — шины.....	165
11.7.2. Датчик температуры охлаждающей жидкости	166
11.7.3. Датчик температуры топлива	166
11.7.4. Термоанемометрические пленочные датчики массового расхода воздуха	167
11.7.5. Лямбда-зонд и регулирование обогрева лямбда-зонда	167
11.7.6. Сигнал скорости.....	168
11.8. Контроль сажевого фильтра	168
11.8.1. Датчики давления и температуры перед и за фильтром.....	168
11.8.2. Датчик температуры перед турбокомпрессором	169
11.8.3. Лямбда-зонд и датчик массового расхода воздуха	169
11.8.4. Контрольная лампа сажевого фильтра.....	170
11.8.5. Контроль систем фильтрации частиц с присадкой	170
11.9. Датчики сажи для контроля сгорания или сажевых фильтров.....	171
12. Технические требования при реализации предписываемых диагностических функций	173
12.1. Временная организация диагностических функций	174
12.2. Рассмотрение различных вариантов автомобилей	175
12.3. Рассмотрение перспективных технологий очистки ОГ	176
12.4. Адаптация к новым двигателям.....	176
13. Основные условия для бортовой диагностики неисправностей	178
14. Проверка токсичности ОГ в системах OBD	181
14.1. Осмотр деталей, имеющих отношение к вредным веществам.....	181
14.2. ПО для проверки токсичности ОГ через OBD.....	181
14.3. Проверка токсичности ОГ в автомобилях с бензиновым двигателем и системой OBD.....	181
14.4. Проверка токсичности ОГ в автомобилях с дизельными двигателями и системой D-OBD.....	183
15. OBD 3, OBM и перспективные требования	186
Приложение	189
Список используемых сокращений	220
Список литературы	222

ПРЕДИСЛОВИЕ

В ближайшие годы расход топлива и выбросы вредных веществ у автомобилей должны значительно снизиться. Для этого Европейская Комиссия приняла программу «**Auto/Öl**». В основе своей программа представляет собой директиву по выхлопным газам, регламент типовых испытаний автомобилей и директиву по внутренней технической проверке токсичности выхлопа. В рамках этой программы автопроизводители обязуются снизить средние выбросы CO_2 у легковых автомобилей до 140 г/км. Ужесточение правил техобслуживания и контроля на протяжении срока службы автомобилей должно гарантировать соблюдение требований. Это создает основные предпосылки для внедрения **бортовой диагностики**.

С 1 января 2000 года все новые автомобили с бензиновыми двигателями должны быть оснащены системой OBD. Для автомобилей с дизельными двигателями это требование действует с 2004 года. При этом в автомобиле должен быть обязательно установлен стандартный интерфейс, и все данные систем сокращения выбросов должны быть доступны любой СТО и всем остальным пользователям. Автопроизводители обязаны предоставлять любому пользователю любую техническую информацию по OBD своих автомобилей.

Системы OBD обеспечивают постоянный контроль во время поездки всех деталей

и систем, имеющих отношение к выхлопным газам. Они передают текущие данные об автомобиле и версиях ПО и ЭБУ. Для выполнения всех требований необходимо множество датчиков, контролирующих электронику двигателя и различные системы очистки ОГ. Постоянная самодиагностика и различные проверки правдоподобности гарантируют комплексный контроль систем. Системные неисправности и окружающие условия при их возникновении записываются по единым стандартам в регистратор событий и могут быть считаны подходящими устройствами.

Данная книга предназначен для специалистов по ремонту и обслуживанию автомобилей, автомехаников, автоэлектриков, учащихся соответствующих профтехучилищ. В книге описаны процессы образования вредных веществ в двигателях внутреннего сгорания, представлены нынешние и перспективные системы для снижения выбросов ОГ, показаны системы OBD и механизмы устранения неисправностей у деталей, имеющих отношение к ОГ. Сложные процессы разьяснены в доступной для усвоения форме. Книга содержит обзор требований законодательства по снижению выбросов ОГ. В Приложении читатель найдет список стандартизированных кодов неисправностей OBD. Кроме того, здесь кратко описаны интересные разработки

перспективных систем очистки ОГ и технологии ДВС будущего.

В книгу включен многолетний опыт автора в обучении автомобильных мастеров и специалистов по обслуживанию, а также в проведении курсов по проверке токсичности ОГ в Академии техники и экономики (FTB) в Магдебурге с разрешения высшего

органа власти федеральной земли Саксония-Ангальт.

Хочу выразить свою благодарность в адрес всех автопроизводителей и предприятий-поставщиков, предоставивших иллюстрационный материал и техническую информацию — этот интересный проект не состоялся бы без них.

Магдебург

Дипл. инж. Уве Рокош

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы во всех областях развития автомобильной техники и двигателестроения был достигнут огромный прогресс. Время, проходящее от появления идеи и концепции до начала серийного производства, все больше и больше сокращается. Значительно растут финансовые затраты на исследование и разработки. В полную разработку нового двигателя от первого наброска до запуска в серию изготовитель должен вложить от 500 000 млн до 1 млрд евро. Полная разработка автомобиля стоит в разы больше. Помимо аспектов безопасности и комфорта пассажиров приоритетными статьями расходов на разработку являются меры по снижению расхода и минимизации вредных выбросов. Так, за последние годы удалось снизить уровень токсичности выхлопа у современных двигателей с Евро-1 до Евро-5, более чем на 90%. Средний расход топлива снизился за последние 10 лет примерно на 2 литра на 100 км. Выбросы сажи дизельными двигателями снизились с 1985 года более чем на 95%. Это особенно интересно в том плане, что за тот же период в силу роста требований к безопасности и комфорту заметно увеличилась масса автомобилей. В конечном итоге при разработке современных двигателей и новых систем всегда важно обеспечить дозирование топлива с точностью до нескольких миллиграмм и момент зажигания порядка нескольких миллисекунд

в любой возможной рабочей точке. Ранее достигнутые успехи были реализованы внутри двигателя за счет:

- оптимизации впрыска топлива;
- оптимизации сгорания;
- оптимизации подачи воздуха;
- улучшения качества топлива;
- повышения эффективности катализаторов;
- повышения эффективности сажевых фильтров;
- разработки более точных и чувствительных датчиков;
- улучшения используемых материалов;
- улучшения технологий изготовления.

Конечно же, нельзя не сказать о повышении количества и сложности электронных систем двигателей. В будущем без электроники в двигателе уже ничего не будет регулироваться и контролироваться. Доля электроники в создании стоимости автомобилей премиум-класса уже сегодня составляет до 40%. Этот показатель имеет тенденцию к повышению. Современные системы управления двигателями способны выполнять несколько миллионов вычислительных операций в секунду. Без соответствующего контроля работы и самодиагностики систем царил бы сущий хаос. Станции техобслуживания автомобилей были бы безнадежно перегружены работой. В новых системах управления двигателями около 50% производительности процессоров используется

для контроля и самодиагностики системы. Функции современных систем, обеспечивающие работу в аварийном режиме, многократно превосходят по производительности более старые основные системы. Устанавливаемый на современный автомобиль процессор имеет производительность, превышающую производительность всего вычислительного центра, управлявшего полетом космического корабля «Аполлон-11» на Луну в 1969 году.

Чтобы понять сложные взаимосвязи в современных системах и совместную работу отдельных компонентов, необходимы обширные технические знания. Чтобы предотвратить хаос в сфере диагностики, на законодательном уровне были установлены единые условия и стандарты в области диагностики двигателей в плане токсичности

выхлопа. К сожалению, эти стандарты соблюдаются не на 100 % у всех типов автомобилей и не всеми изготовителями.

В следующих главах наряду с подробными описаниями и иллюстрированием систем бортовой диагностики (OBD) рассмотрены все темы, непосредственно связанные с бортовой диагностикой. Это особенно касается различных систем, регулирующих обработку выхлопных газов. Обзор перспектив развития моторостроения и систем выпуска призван акцентировать внимание читателя на сложности процессов и значительных научно-технических усилиях автопроизводителей.

В этой книге я бы хотел встать на защиту завоеваний автоиндустрии в борьбе за снижение токсичности выхлопа и уменьшение расхода топлива.

1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

Чтобы понять сложность современных двигателей и систем управления, стоит обратиться к истории развития моторостроения. Две мировые войны, за которыми следовали годы кризиса и подъема, одновременно и стимулировали и в то же время тормозили технический прогресс. Многие системы, предлагаемые как «новые», зачастую были изобретены давно, но не находили практического воплощения и применения. Иногда разработки оказывались ненадежными из-за некачественных материалов или требовали слишком больших производственных издержек. Новые материалы и стремительный прогресс в электронике открыли для многих разработок новые перспективы. Внедрение новых технологий и систем теперь происходит через все более короткие промежутки времени. Так, к примеру, исчезновение распределительных валов из двигателей легковых автомобилей — всего лишь вопрос времени, работой клапанов совсем скоро станут управлять очень быстро переключающиеся гидравлические, электрогидравлические и электрические устройства. Это обеспечит полную регулируемость системы газораспределения. Различные способы наддува станут в малолитражных бензиновых двигателях таким же стандартом, как турбонаддув в дизелях. Понятие «downsizing» (англ. «уменьшение размеров») становится реальностью. Не исключено, что однажды между бензиновыми и дизельными двигателями останут-

ся лишь незначительные различия, и способ сгорания будет определяться лишь залитым в бак топливом. В средне- и долгосрочной перспективе мир двигателей внутреннего сгорания завоюют совершенно новые, доселе считавшиеся нереальными способы организации процесса сгорания и виды топлива.

1.1. 100 лет моторостроения — сравнительный анализ

В таблице 1.1 приведено сравнение параметров высокомоощного двигателя гоночного автомобиля образца 1913 года и обычных серийных двигателей легковых автомобилей, выпускавшихся в 1992-м и 2005-м годах. Между этими двигателями — почти 100 лет развития моторостроения. Сравнение интересно тем, что все три двигателя изготовлены одним и тем же производителем, и все они работают по одному и тому же принципу. Изображенные на рис. 1.1 характеристики мощности и степени сжатия двигателей делают прогресс в моторостроении очевидным. В ближайшие годы в моторостроении следует ожидать дальнейших инноваций. Особенно впечатляет сравнение расхода топлива и норм токсичности ОГ при увеличении мощности и крутящего момента. Так, например,

Таблица 1.1. Сравнительные характеристики современных автомобильных двигателей и двигателей, разработанных около 100 лет назад

Оценочный параметр	Двигатель гоночного автомобиля 1913	Серийный двигатель 1992	Современный двигатель
Тип двигателя	4-цилиндровый 4-тактный бензиновый	4-цилиндровый 4-тактный бензиновый	4-цилиндровый 4-тактный бензиновый
Смесеобразование	Карбюратор	Многоточечный впрыск	Непосредственный впрыск
Число клапанов на цилиндр	4	4	4
Ход поршня/диаметр цилиндра, мм	160/94	86/86	94,6/86
Ход/диаметр	1,7	1	1,1
Рабочий объем, см ³	4441	1998	2198
Степень сжатия ϵ	5,1	10,5	12
Макс. мощность кВт/л.с. при частоте вращения, мин ⁻¹	60 / 82 2800	110 / 150 6000	114 / 155 6000
Макс. крутящий момент Н·м при частоте вращения, мин ⁻¹	240 1700	196 4800	220 3800
Мин. удельный расход топлива, г/кВт·ч	400	232	< 220
Макс. расход топлива, л / 100 км	30-40	12-14	6,5-10,9
Эффективное среднее давление P_e , бар	7,2	13,4	13,7
Максимальное давление сгорания P_{max} , бар	16	77,1	80
Выполнение норм по ОГ	Ненормировано	Норма US 93, Евро-2	Евро-5
Масса двигателя (сухая), кг	220	120	115
Ускорение от 0 до 100 км/ч, с *	20	8,5	9,8
Макс. скорость, км/ч *	150	223 км/ч	210 км/ч

* Ускорение и максимальная скорость автомобиля сильно зависят от передаточных чисел и конструкции КПП.

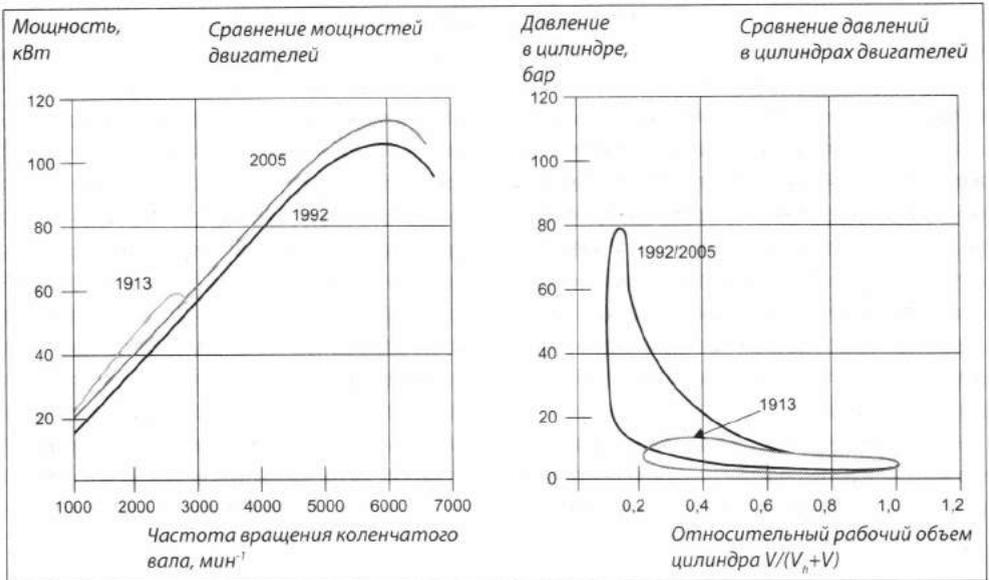


Рис. 1.1. Сравнение кривых мощности и давления в цилиндрах двигателей

современным приборам не удалось измерить токсичность выхлопных газов у двигателя образца 1913 года — просто не хватило диапазона измерения.

1.2. Мощность современных двигателей и их системы управления

Современные двигатели — это продукты высоких технологий в чистом виде. Под капотами автомобилей сегодня скрываются агрегаты поистине адской мощности. К примеру, у восьмицилиндрового двигателя при частоте вращения коленчатого вала 5800 мин⁻¹ через впускные каналы за минуту проходит 11 300 литров свежего воздуха со скоростью 325 км/ч. Насос охлаждающей жидкости за секунду прогоняет до 4,5 л ОЖ. Более 23 000 воспламенений в минуту разгоняют поршни массой 535 г при температуре

3000 °С и под давлением 5,7 т до скорости 100 км/ч за 0,0002 секунды. Каждый из 32 кулачков по 48 раз в секунду с усилием 140 кг воздействует на один из 32 толкателей, а отработавшие газы при температуре 960 °С со скоростью звука устремляются в направлении катализатора.

И вся эта чудовищная, невероятная мощь укрощается, регулируется и контролируется скромным маленьким компьютером. Электроника управления двигателем регистрирует количество, плотность и температуру всасываемого воздуха, обеспечивая смешивание его с топливом, дозируемым с точностью до миллиграмма или тысячной доли миллилитра. Она регулирует момент появления искры зажигания напряжением в 30 000 В с точностью до 0,000001 с. Для идеального выполнения своей задачи электроника управления двигателем получает по CAN-шине до тысячи сообщений в секунду от других электронных систем и многочисленных датчиков, которые она затем обрабатывает со скоростью

10–20 млн операций в секунду. Постоянная проверка измеренных значений, сравнение с запрограммированными номиналами и адаптивная подстройка к оптимальным условиям эксплуатации — обычная работа для автомобильной электроники. После базового программирования электронные системы сами могут оптимально адаптироваться к тому или иному двигателю и компенсировать изменения. Путем использования сотен характеристик, кривых и констант можно осуществить быструю и точную адаптацию ко всем режимам работы.

Без электроники сегодняшние двигатели потребляли бы на 25–30 % больше топлива, при этом о стабильности параметров их

работы можно было бы забыть, как и о соблюдении предписанных норм токсичности. Ожидаемый срок службы агрегатов оказался бы заметно короче. Раньше электроника считалась дорогой, ненадежной и неремонтопригодной. Однако механика достигла пределов своих возможностей, и дальнейшее развитие концепций управления двигателями по традиционному пути оказалось невозможным. Двух- и трехкамерные карбюраторы для подготовки топливно-воздушной смеси оказались слишком дорогими и сложными, многие СТО были просто перегружены заказ-нарядами на их обслуживание и регулировку. Точно определить текущие условия эксплуатации

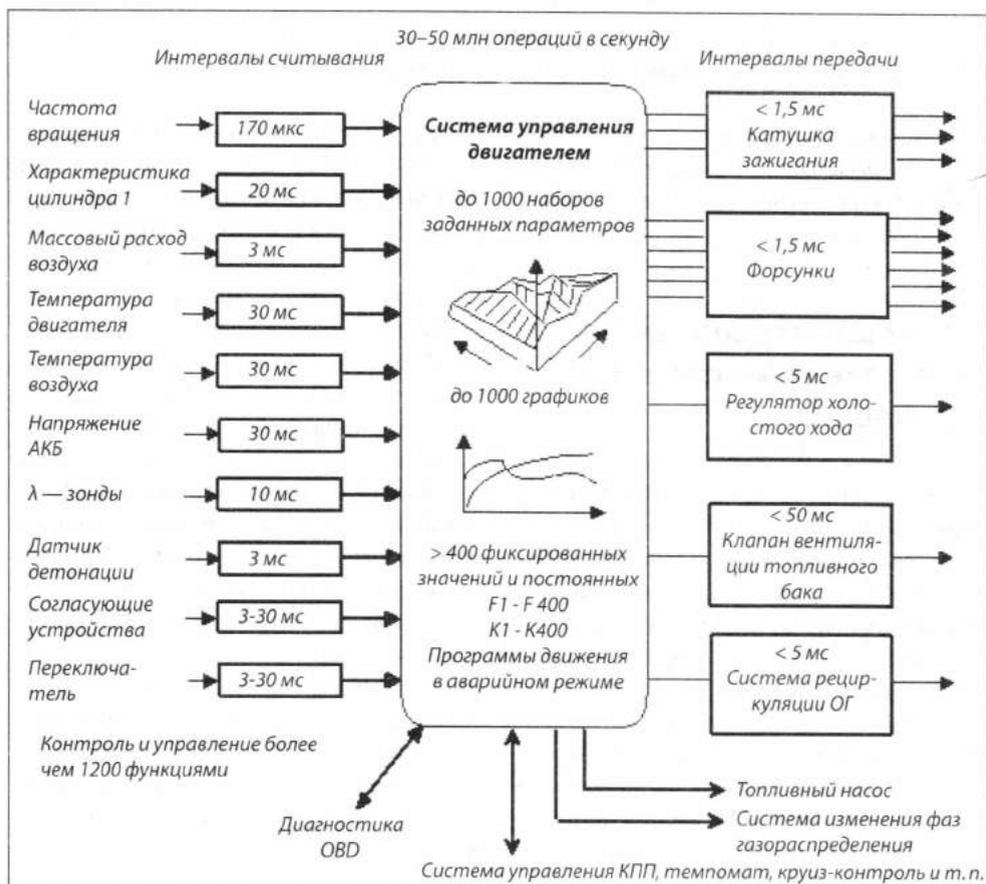


Рис. 1.2. Производительность современной системы управления двигателем

было невозможно. Выход был найден только в применении электроники.

В моторном отсеке автомобиля электронике приходится работать при температурах от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$. Добавьте сюда грязь, пыль и влажность, а также удары и вибрацию при проезде неровностей, кратковременные ускорения, в сто раз превышающие ускорение свободного падения. Но, даже работая в таких условиях, последние поколения электронных систем управления двигателями могут совершать десятки миллионов операций в секунду. Однако применение технологий самообучения сделает данные системы еще сложнее. В то же время они смогут реагировать на условия окружающей среды так же быстро, как и на изменения в двигателе. В определенных пределах системы смогут самостоятельно реагировать на изменение условий эксплуатации и компенсировать возникающие неисправности. Станет возможной индивидуальная адаптация электронных систем к конкретному двигателю.

Оптимальные параметры работы новых двигателей определяются во время стендовых испытаний. При этом определяется, записывается и обрабатывается более 6500 значений с интервалом 0,1 с. Затем происходит адаптация полученных данных к реальным условиям эксплуатации двигателя и автомобиля. При этом учитывается и то, что в конечном итоге автомобилем будет управлять человек.

Основу современных систем бортовой диагностики (OBD) заложили электронные системы управления двигателями Motronic,

которые традиционно делились на системы управления впрыском топлива и системы управления зажиганием. Отличие современных систем Motronic состоит в производительности электронного блока управления двигателем и использовании многочисленных характеристик, кривых и констант. В блоках управления помимо информации об управлении впрыском обрабатываются также все необходимые данные для управления зажиганием. Современные системы работают адаптивно, а потому не требуют постоянных регулировок и обслуживания. С ростом производительности модулей памяти и процессоров можно записывать все больше и больше характеристик, кривых, фиксированных значений, констант и дополнительных функций (рис. 1.2). Идеальные значения используются для сравнения с фактическими и для адаптивных процессов регулирования. Программы для движения в аварийном режиме и вспомогательные функции становятся все объемнее. Усложняется обмен данными с другими электронными системами автомобиля по CAN-шине — блоком управления КПП, системой управления динамикой и пр. Лишь с использованием этих систем стала возможной современная бортовая диагностика.

Примечание

Приведенные величины являются ориентировочными и в отдельных системах могут оказаться выше или ниже. При этом в ближайшие годы следует ожидать дальнейшего роста производительности электронных модулей и процессоров. В среднем она удваивается через каждые полтора года.

2. ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В СФЕРЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОГ

2.1. Мировая практика

Уже с появлением первых автомобилей выяснилось, что выхлопные газы распространяют неприятный запах. Чтобы уменьшить этот запах, в выхлоп стали добавлять ароматизаторы. В 1942 году в Калифорнии (где в то время на 7 млн жителей приходилось 3 млн автомобилей) впервые был зарегистрирован смог. С тех пор было многое сделано в плане снижения вредных выбросов. Сегодня в выхлопе 20 автомобилей содержится меньше вредных веществ, чем в выхлопе одного автомобиля сорок лет назад. У автомобиля, выполняющего нормы Евро-5, выхлоп в некоторых аспектах оказывается даже чище всасываемого воздуха. Между тем, ряд автомобильных двигателей уже отвечает нормам Евро-6.

В ряде стран созданы регулирующие органы, устанавливающие предельные параметры отработавших газов: в Европе это European Commission (ЕС, Еврокомиссия), в Японии — Ministry of Transport (MIT, Министерство транспорта), в США — Environmental Protection Agency (EPA, Министерство охраны окружающей среды), а в штате Калифорния — свой «собственный»

орган California Air Resources Board (CARB, Отдел надзора за воздушными ресурсами). Другие страны при регламентировании параметров отработавших газов чаще всего берут за основу либо полностью перенимают законодательство этих стран. При этом в некоторых странах используются откровенно старые данные из тех лет, когда были приняты первые законодательные акты в области регламентирования токсичности ОГ.

Европейское законодательство

В 1972 году в странах Западной Европы впервые были утверждены предельные значения для автомобильных выхлопных газов на базе городского цикла (ECE 15/01). Эти предельные значения постепенно ужесточались до вступления в силу в 1982 году директивы ECE 1504. В 1992 году была введена ступень Евро-1 и стала обязательной установка на автомобили каталитических нейтрализаторов (катализаторов). Одновременно был принят и новый испытательный цикл движения для легковых автомобилей, так называемый европейский (Neue Europäische Fahrzyklus, NEFZ). Он состоит из городского и загородного циклов. Норма Евро-3 ужесточила предельные количества вредных веществ и требования

к испытаниям. Действовавшая ранее 40-секундная фаза холостого хода была упразднена. Теперь проба отработавших газов берется и анализируется сразу после пуска двигателя. Норма Евро-4 начала действовать с 1 января 2005 года для новых типов автомобилей и с 1 января 2006 года для всех новых автомобилей. На сегодняшний день в Евросоюзе действует сертификат Евро-5. Этот стандарт для грузовых автомобилей начал действовать с 1.10.2008 года, а для легковых автомобилей — с 1.09.2009 года. Сертификат Евро-5 был принят в большинстве странах Европейского союза.

Евросоюз планирует принять новый сертификат Евро-6 и еще больше повысить экологические требования. После того, как новый стандарт вступит в силу, все государства-члены ЕС должны отказаться от продаж, регистрации и утверждения автомобилей, которые не соответствуют нормам принятого стандарта. Отсрочку сроком на один год предусмотрено для транспортных средств, которые удовлетворяют социальные потребности, а также для транспортных средств категории N_1 и N_2 .

Законодательство в области токсичности ОГ в США и Калифорнии

В 1966 году в Калифорнии начали действовать первые в мире ограничения концентрации вредных веществ в выхлопных газах. Содержание углеводородов в те времена превышало сегодняшний уровень в 20 раз, оксида углерода (CO) — в 30 раз, а окислов азота — в 5 раз. С 1975 года они ужесточились до уровня, при котором стала обязательной установка катализаторов двойного действия. Необходимым условием для этого было использование неэтилированного топлива. С 1978 года для соблюдения постепенно ужесточавшихся требований законодательства обязательными стали катализаторы

тройного действия. Законодательство штата Калифорния, предъявлявшее более жесткие требования к токсичности ОГ, всегда на пару лет опережало другие штаты США. Штаты, сталкивающиеся со специфическими проблемами качества воздуха, оперативно подхватывают инициативы калифорнийских законодателей. В настоящее время в США применяется испытание, утвержденное Министерством охраны окружающей среды, — так называемый EPA Test. Здесь следует сказать, что в стране с 1975 года применяется цикл движения FTP-75 (Federal Test Procedure), состоящий из городского (City Test) и загородного (Highway Test) циклов. Поэтапно к нему добавляется отдельное нагрузочное испытание и испытание для автомобилей с кондиционером (SFTP — Supplemental Federal Test Procedure). Дополнительные испытания проводятся для гибридных автомобилей, для автомобилей CARB OBD и для измерения испаряемости топлива.

С 2004 года вступили в действие еще более жесткие стандарты токсичности ОГ. Постепенно вводятся многочисленные дополнительные предписания, относящиеся к определенным видам автомобильной продукции. Калифорнийское же законодательство постоянно усложняется. В перспективе в этом штате будут действовать шесть ступеней токсичности ОГ, которые впоследствии начнут применяться и в других штатах. Что касается общеамериканского законодательства в области токсичности ОГ, то оно на сегодняшний день не является единым и содержит различные нормы, зачастую не совпадающие по времени принятия и по содержанию. Такого же общего порядка, как в Европе, в США в настоящее время нет.

Так, например, предельные выбросы NO_x для бензиновых двигателей должны быть уменьшены до 0,0125 г/км, а количество остаточных (несгоревших) углеводородов —

до 0,0062 г/км. Для дизельных двигателей действуют предельные выбросы частиц 0,0025 г/км и NO_x 0,08 г/км. Ниже расшифрованы различные распространенные сокращения американских норм токсичности ОГ.

TLEV (Transient Low Emission Vehicles)

Ступень для автомобилей с выбросами остаточных углеводородов менее 0,125 граммов на милю.

LEV (Low Emission Vehicles)

Ступень для автомобилей с выбросами остаточных углеводородов менее 0,075 граммов на милю.

ULEV (Ultra Low Emission Vehicles)

Ступень для автомобилей с выбросами остаточных углеводородов менее 0,04 граммов на милю.

SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicles)

Еще более жесткая норма по сравнению с ULEV.

Ступень для автомобилей с выбросами остаточных углеводородов менее 0,01 граммов на милю и выбросами NO_x менее 0,02 граммов на милю.

EZEV (Equivalent Zero Emission Vehicles)

Ступень для автомобилей с практически нулевыми выбросами вредных веществ.

ZEV (Zero Emission Vehicles)

Ступень для автомобилей с нулевыми выбросами вредных веществ.

Все больше моделей автомобилей должны соблюдать все более жесткие требования к составу выхлопа. Особые соглашения между отдельными штатами и автопромышленностью делают ситуацию в США очень сложной. При этом значение имеет также количество продаваемых автомобилей. Текущего контроля эксплуатируемых автомобилей (такого, как контроль по ст. 47а немецких Правил допуска к эксплуатации) в США нет. Там контроль осуществляется методом случайной выборки. Гарантия соблюдения нормы SULEV законодательно

установлена на уровне 150 000 миль пробега или 15 лет.

Начиная с 1999 модельного года, в 22-х наиболее загазованных штатах организации обязаны использовать для своего автопарка все больше экологически чистых автомобилей, так называемых Clean Fuel Vehicles. Доля этих автомобилей в 1999 году составляла 30%, в 2000 году 50%, а в 2001 году — уже 70%. Начиная с 2003-го модельного года, в Калифорнии 10% проданных автомобилей одного производителя или импортера должны соответствовать норме ZEV.

Японское законодательство

В Японии нормы токсичности ОГ, для соответствия которым автомобили необходимо оснащать катализаторами, действуют с 1978 года. Они соответствуют тогдашним нормам, принятым в Европе и США. Однако с 1 сентября 2002 года нормы были резко ужесточены до стандартов 2000-х годов для новых автомобилей. Особые, более жесткие требования для дизельных автомобилей вступили в силу 1 сентября 2004 года. Очередное ужесточение предельных значений произошло в 2007 и 2009 годах. Гарантия соблюдения требований к работе систем должна даваться на 80 000 км пробега автомобиля. Измерения проводятся по различным испытательным циклам, из которых наиболее важными являются так называемый режим 10+15 (так называемый «горячий пуск») и режим 11 («холодный пуск»). Дополнительно проводятся различные испытания на дымность. Режим 10+15 представляет собой цикл движения, аналогичный европейскому циклу, но протекающий соответственно японским особенностям вождения с более низкими скоростями движения (не более 70 км/ч). Для определенных районов с высокой плотностью населения, таких как Токио или Осака, должны дополнительно выполняться более жесткие

показатели предельного содержания NO_x согласно закону о контроле содержания NO_x в отработавших газах.

Законодательство в отношении токсичности ОГ в других странах мира

Большинство остальных стран перенимают нормы, принятые в США, Европе или Японии. Так, в Австралии и Новой Зеландии действуют нормы Евро, которые вступили в силу практически в то же время, что и в европейских странах. Некоторые государства напрямую признают европейские, американские или японские сертификаты. Это зависит от экономических и политических отношений с теми или иными регионами. С 2007 года в Китае действуют нормы Евро-3, с 2010 года — Евро-4. Для выполнения этих норм на автомобилях с бензиновыми двигателями необходима установка катализаторов. Поскольку это диктует необходимость заправки неэтилированным топливом, должна быть соответствующим образом подготовлена национальная топливозаправочная инфраструктура. С 2010 года для автомобилей с дизельными двигателями начинают действовать нормы Евро-4 и обязательное наличие OBD.

Бразилия тяготеет к американским нормам. Однако в настоящее время это единственная страна, где запрещена эксплуатация автомобилей с дизельными двигателями, за исключением внедорожников, с полезной нагрузкой менее 1000 кг (например, легковые автомобили).

В России приняты нормы Евро-4 для всех новых автомобилей.

Такие страны, как Вьетнам и Таиланд, в ближайшие годы намерены ввести международные нормы токсичности ОГ для новых автомобилей. Это говорит о том, что проблема загрязнения атмосферы вредными веществами, содержащимися в выхлопе

автомобилей, перестает быть актуальной лишь для развитых стран, а становится глобальной. Для ее решения требуются совместные усилия многих стран.

Содержание серы в топливе

Большой проблемой в плане глобального соблюдения норм токсичности ОГ является производство высококачественного топлива, в том числе с низким содержанием серы. Без такого топлива системы очистки ОГ не могут работать эффективно, продолжительно и надежно. Для сравнения, в настоящее время в Европе, Австралии и Японии содержание серы в топливе не может превышать 50 промилле, а в других странах (например, в Египте и Марокко) оно может достигать 12 000 промилле! В большинстве стран Европы, не входящих в ЕС, предписанный порог содержания серы составляет 350–500 промилле. В Турции же этот показатель намного выше. Многие страны планируют ограничить содержание серы в топливе до 50 промилле и менее (10–15 промилле). Если автомобили, оснащенные самыми современными устройствами для очистки ОГ, попадают в страны, где используется низкокачественное топливо с высоким содержанием серы, нейтрализация вредных веществ в ОГ ослабляется, а в худших случаях катализаторы просто выходят из строя.

2.2. Европейские нормы токсичности ОГ

На рис. 2.1 и 2.2 показаны основные тенденции в отношении предельных значений токсичности ОГ для бензиновых и дизельных двигателей в Европе. Продолжающееся ужесточение требований к токсичности ОГ подчеркивает очевидную важность внедрения

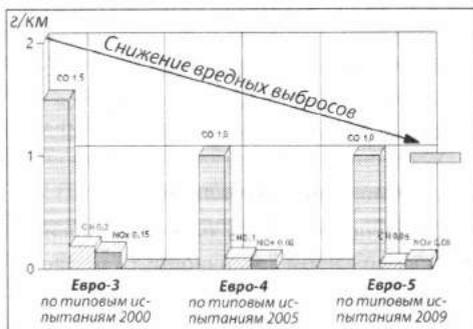


Рис. 2.1. Пределные параметры ОГ для легковых автомобилей с бензиновыми двигателями

систем OBD и обязательного контроля состава ОГ. Пределные значения приведены для автомобилей с бензиновыми или дизельными двигателями, максимальным количеством посадочных мест не более 6 и полной массой до 2500 кг.

В Германии реализация директивы ЕС о предельном содержании диоксида серы, диоксида азота и оксидов азота, частиц и свинца в воздухе регулируется Постановлением № 22 о реализации Федерального Закона о мерах защиты окружающей среды от 11.09.2002. С 1 января 2005 года вне зависимости от места измерения действует максимально допустимый предел загрязнения воздуха частицами PM_{10} 50 $мг/м^3$ (среднесуточное значение). Это значение не должно превышаться в календарном году более чем 35 раз. Среднегодовое значение при PM_{10} не должно превышать 40 $мг/м^3$.

Исследования показали, что доля выхлопов дизельных легковых автомобилей в общем загрязнении воздуха мелкодисперсной пылью составляет около 5%.

В таблицах 2.1–2.4 приведены установленные директивами ЕС предельные уровни токсичности ОГ для легковых автомобилей, легких и тяжелых грузовиков.

Без установки очень дорогих накопительных катализаторов или SCR-катализаторов

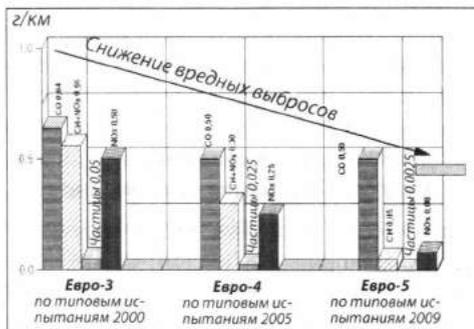


Рис. 2.2. Пределные параметры ОГ для легковых автомобилей с дизельными двигателями

и сажевых фильтров соблюдать новые нормы не удастся. А их установка приводит к тому, что автомобили становятся заметно дороже. Отчасти принимаемые меры по сокращению выбросов сажи и окислов азота находятся на грани технически необходимого и экономически целесообразного. Со вступлением в силу стандарта Евро-6 в части токсичности ОГ легковые автомобили больше не будут различаться по типу двигателя — бензиновый/дизельный. Будут действовать единые нормы для легковых автомобилей.

С реализацией европейских директив одновременно были приняты постановления по качеству топлива, особенно по содержанию в топливе свинца и серы. Они были закреплены в стандартах DIN EN 228 для бензина и DIN EN 590 для дизтоплива.

Дополнительно к предписаниям по токсичности ОГ для легковых и легких грузовых автомобилей ЕС ввел соответствующие ужесточения требований для тяжелых грузовиков. В феврале 2000 года ЕС опубликовал директиву 1999/96/EG. Она предусматривает ужесточение требований для тяжелых грузовиков в три этапа на основании базовой директивы 88/77/EG в редакции 96/1/EG (Евро-2). Кроме того, эта директива предписывает обязательное наличие OBD у тяжелых грузовиков с 2005 года (Евро-4).

Таблица 2.1. Предельные уровни токсичности Евро-3 (Директива ЕС 98/69/EG)

Дата ввода	Класс / группа автомобилей	Базисная масса RW, кг	CO г/км		CH г/км		NO _x г/км		CH + NO _x г/км		PM г/км
			Бензин	ДТ	Бензин	ДТ	Бензин	ДТ	Бензин	ДТ	
01.01.00	Класс/Группа Легковые Легкие грузовики	Все RW<1305 1305<RW<1760 1760<RW	2,3	0,64	0,20	-	0,15	0,50	-	0,56	0,05
01.01.00			2,3	0,64	0,20	-	0,15	0,50	-	0,56	0,05
01.01.01			4,17	0,80	0,25	-	0,18	0,65	-	0,72	0,07
			5,22	0,95	0,29	-	0,21	0,78	-	0,86	0,10

Таблица 2.2. Предельные уровни токсичности Евро-4 (Директива ЕС 98/69/EG)

Дата ввода	Класс / группа автомобилей	Базисная масса RW, кг	CO г/км		CH г/км		NO _x г/км		CH + NO _x г/км		PM г/км
			Бензин	ДТ	Бензин	ДТ	Бензин	ДТ	Бензин	ДТ	
01.01.05	Класс/Группа Легковые Легкие грузовики	Все RW<1305 1305<RW<1760 1760<RW	1,0	0,50	0,10	-	0,08	0,25	-	0,30	0,025
01.01.05			1,0	0,50	0,10	-	0,08	0,25	-	0,30	0,025
01.01.06			1,81	0,63	0,13	-	0,10	0,33	-	0,39	0,04
			2,27	0,74	0,16	-	0,11	0,39	-	0,46	0,06

Таблица 2.3. Предельные уровни токсичности Евро-5

Дата ввода	Класс / группа автомобилей	Базисная масса RW, кг	CO г/км		CH г/км		NO _x г/км		CH + NO _x г/км		PM г/км
			Бензин	ДТ	Бензин	ДТ	Бензин	ДТ	Бензин	ДТ	
01.10.08	Класс/Группа Легковые Легкие грузовики	Все RW<1305 1305<RW<1760 1760<RW	1,0	0,50	0,075	-	0,06	0,20	0,250	0,005	0,005
01.10.08			1,0	0,50	0,075	-	0,06	0,20	0,250	0,005	0,005
			1,81	0,63	0,10	-	0,075	0,26	0,320	0,005	0,008
			2,27	0,74	0,12	-	0,082	0,31	0,380	0,005	0,012

Таблица 2.4. Предельные значения ОГ для серийно выпускаемых тяжелых грузовиков и автобусов

	Евро-0	Евро-1	Евро-2	Евро-3		Евро-4/5		Евро-6		
	88/77/ EWG	91/542/EWG		1999/96/EG						Современное предложение
	с 88/90	с 92/93	с 95/96	с 2000		с 2005/2006 / 2008/2009		с 2013		
		1-я ступень	2-я ступень	ESC-ELR-тест ¹⁾	ETC-тест ^{2) 3)}	ESC-ELR-тест ¹⁾	ETC-тест	ESC-ELR-тест	ETC-тест ^{2) 3)}	
	г/кВт·ч	г/кВт·ч	г/кВт·ч	г/кВт·ч	г/кВт·ч	г/кВт·ч	г/кВт·ч	г/кВт·ч	г/кВт·ч	
CO	12,30	4,9	4,0	2,1	5,45	1,5	4,00	1,5	4,0	
CH	2,60	1,23	1,10	0,66	–	0,46	–	0,46	–	
NMCH	–	–	–	–	0,78	–	0,55	–	0,55	
CH ₄	–	–	–	–	1,60 ⁴⁾	–	1,1 ⁴⁾	–	1,1 ⁴⁾	
NO _x	15,80	9,00	7,0	5,0	5,0	2,5/2,0 ⁷⁾	3,5/2,0 ⁷⁾	0,50	0,50	
Частицы	–	0,40	0,15	0,10	0,16 ⁵⁾	0,02	0,03 ⁵⁾	0,002	0,003	
Сажа	–	–	–	0,8 м ⁻¹	–	0,5 м ⁻¹	–			

¹⁾ измененные / более жесткие условия испытаний для всех дизельных двигателей
²⁾ дополнительное испытание переходных процессов для дизельных двигателей с системой очистки выхлопа
³⁾ для двигателей, работающих на газе, только испытание переходных процессов
⁴⁾ только для двигателей, работающих на природном газе
⁵⁾ только для дизельных двигателей
⁷⁾ при Евро-5 (с 2009) снижается только предельное содержание NO_x с 3,5 до 2,0 г/км

Предельное содержание частиц по массе
ESC – European Stationary Cycle (европейский стационарный цикл)
ETC – European Transient Cycle (европейский динамический цикл)
ELR – European Load Response Test (в перспективе будет упразднен, так как это лишь динамическое дополнение к стационарному испытанию ESC)

2.3. График ввода норм Евро-4 и выше

В таблице 2.5 приведены крайние сроки реализации требований директив ЕС в странах Евросоюза. Разумеется, автопроизводители могут начать реализацию требований директив ЕС в своих автомобилях и раньше. На конец 2013 года запланировано внедрение экологического стандарта Евро-6.

Дополнительно к абсолютному снижению предельно допустимого уровня токсичности ОГ заметно ужесточены методы

испытаний и требования к срокам службы используемых систем очистки ОГ автомобилей. Для допуска к эксплуатации новых автомобилей изготовители или импортеры должны доказать, что их автомобили соответствуют нормам токсичности до пробега 100 000 км (Евро-4) или в течение 5 лет. В США планируется, что гарантия на системы очистки ОГ будет составлять 15 лет или 150 000 миль пробега. Для контроля за соблюдением норм токсичности ОГ должны проводиться дорожные испытания и статистически анализироваться результаты предписанных испытаний

Таблица 2.5. Сроки реализации требований директив ЕС в странах Евросоюза

Дата / год	Требования и правила из Директивы 98/69/EG от 28.12.1998
с 1 января 2005 г.	Действует стандарт Евро-4, все новые легковые автомобили (типовое испытание) должны выполнять требования Евро-4 Содержание серы в бензине и дизтопливе не более 50 промилле В Германии с 2003 года не более 10 промилле (при превышении уплачивается дополнительный налог 0,015 €/л)
с 1 января 2006 г.	Все допущенные к эксплуатации автомобили должны выполнять требования Евро-4 Все новые легкие грузовые автомобили должны выполнять требования Евро-4 (типовое испытание) Все новые легкие грузовые автомобили должны быть оснащены системой OBD (типовое испытание)
с 1 января 2007 г.	Все допущенные к эксплуатации легкие грузовые автомобили должны выполнять требования Евро-4 Все допущенные к эксплуатации легкие грузовые автомобили должны быть оснащены системой OBD
с 1 января 2009 г.	Во всем Евросоюзе в топливе должно содержаться серы не более 10 промилле
с 1 сентября 2009 г.	Введение Евро-5
с 2014 года	Введение Евро-6

(например, статистика неисправностей, выявленных при проверке токсичности ОГ). Если автомобили на дорожных испытаниях не выполняют заданные нормы, то изготовители или импортеры должны быть готовы к серьезным юридическим и финансовым мерам воздействия. Возможен даже отзыв разрешения на эксплуатацию автомобилей. В таблице 2.6 приведены все реализованные и запланированные меры по контролю токсичности выхлопа у новых автомобилей и уже эксплуатируемых автомобилей.

Для Евро-6 помимо ужесточения требований к составу ОГ обсуждаются следующие дополнительные требования:

- гарантия работоспособности систем очистки ОГ легковых автомобилей в течение 10 лет эксплуатации или 300 000 км пробега;
- гарантия работоспособности систем очистки ОГ у новых автомобилей в течение 500 000 км пробега (обсуждается также пробег до 1 млн км);

- включение кондиционера в процедуру типовых испытаний;
- установление предельного содержания частиц в выхлопе для двигателей с непосредственным впрыском бензина;
- снижение предельного содержания частиц на 90 % и окислов азота на 75 % в ОГ грузовых автомобилей;
- дополнительное измерение количества частиц и их распределения.

2.4. Европейский цикл движения NEDC для типовых испытаний

Анализ ОГ при типовых испытаниях автомобилей существенно отличается от проверок токсичности ОГ, проводимых на СТО. При типовой проверке автомобиль проезжает предписанные циклы движения на беговых барабанах при точно заданных параметрах

Таблица 2.6. Обзор мер по контролю токсичности выхлопа автомобилей

	Новые автомобили		Эксплуатируемые автомобили				OBD
	Типовое испытание	Срок службы	Серийное испытание	Дорожный контроль	Периодическая проверка токсичности ОГ		
Цель	Доказательство соблюдения требований законодательства для данного типа автомобиля	Доказательство соблюдения требований законодательства для данного типа автомобиля	Статистическое обеспечение в серийном производстве	Обнаружение технических недостатков или недостаточных предписаний по обслуживанию, специфичных для данного типа автомобилей	Распознавание автомобилей с большими выбросами; данные о состоянии обслуживания автомобилей	Индикация неисправностей деталей, имеющих отношение к системе выпуска и индикация необходимости ремонта	
Ответственность	Изготовитель / импортер	Изготовитель / импортер	Изготовитель / импортер	Изготовитель / импортер	Владелец	Владелец	
Выбор автомобиля	Прототип	Прототип или серийно выпускаемый автомобиль	Случайная выборка из серийного производства, не более 3 автом.	Случайная выборка из автопарка не менее 3 автом., не более 20 автом.	Все эксплуатируемые автомобили	Все эксплуатируемые автомобили	
Момент проверки	Однократно	Однократно	Спорадически	Регулярно	Согласно законодательству страны	Постоянно	
Вид проверки	Типовое испытание	Длительное испытание или с фиксированным коэффициентом ухудшения	Типовое испытание	Типовое испытание	Краткое испытание	По заявлению изготовителя (реальные условия)	
Влияние на снижение выбросов	Испызуемая технология	Сопrotивление при длительной нагрузке в лабораторных условиях	Испызуемая технология и ее реализация в производстве	Испызуемая технология и ее реализация в дорожных условиях	Состояние технического обслуживания и ухода за автомобилем	Сопrotивление при длительной нагрузке и состоянием технического обслуживания в реальных условиях	
Правовая основа	Директива ЕС о мерах по борьбе с загрязнением воздуха выхлопами автомобилей 91/441/EWG; 94/12/EEG; 98/69/EEG				98/69/EEG	98/69/EEG	98/69/EEG

окружающей среды и условиях испытаний. Предписанные и стандартизированные методы измерений определяют количество каждого отдельного компонента ОГ. Для Европы обязательным является новый европейский цикл движения — NEDC (New European Driving Cycle). Данный цикл моделирует типичную манеру езды на европейских дорогах. В других странах (например, в США и Японии) при испытаниях автомобилей применяются другие циклы, учитывающие региональную специфику дорожного движения и стиля вождения. Измерение количества и анализ вредных веществ выполняются по методу CVS (Constant Volume Sampling, отбор проб постоянного объема).

Уже начиная с нормы Евро-3 произошло значительное ужесточение европейских условий испытаний. 40-секундная фаза холодного хода перед началом испытаний была упразднена. Измерение ОГ начинается в момент начала испытания. В 2002 году вступило в силу очередное ужесточение условий испытаний для автомобилей с бензиновыми двигателями. При дополнительном испытании

в холодных условиях пуск двигателя производится при температуре -7°C , и немедленно начинается измерение ОГ в городском цикле. Предельно допустимое количество оксида углерода во время этого испытания не должно превышать 15 г/км , а углеводородов — $1,8\text{ г/км}$. Параллельно с ужесточением условий испытаний вступление в силу нормы Евро-4 почти наполовину уменьшило предельное содержание вредных веществ в выхлопе. Поскольку 90% вредных веществ образуется в фазе нагрева катализатора, изготовители были вынуждены устанавливать новые системы очистки ОГ для фазы холодного пуска и прогрева двигателя.

Испытание с холодным пуском предусмотрено также для автомобилей с дизельными двигателями. После вступления в силу новых стандартов содержания вредных веществ в ОГ автомобилей с дизельными двигателями, с 2008 г требования ужесточились. Так, например, предельное содержание частиц снижено до уровня $0,0025\text{ г/км}$, а количество NO_x по сравнению с Евро-4 сокращено вдвое.

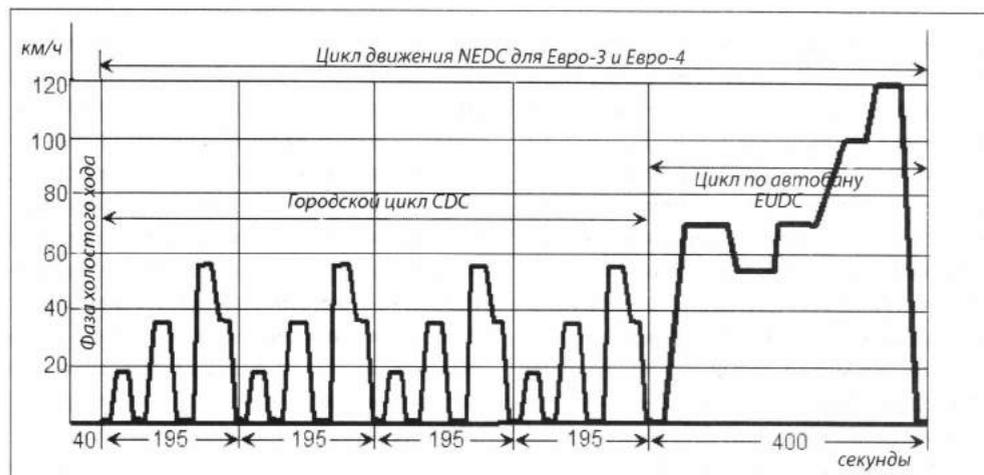


Рис. 2.3. NEDC (New European Driving Cycle, новый европейский цикл движения)

Длительность цикла 1220 секунд (4×195 секунд + 1×400 секунд). Длина цикла 11 007 метров. Средняя скорость $33,6\text{ км/ч}$. Максимальная скорость 120 км/ч

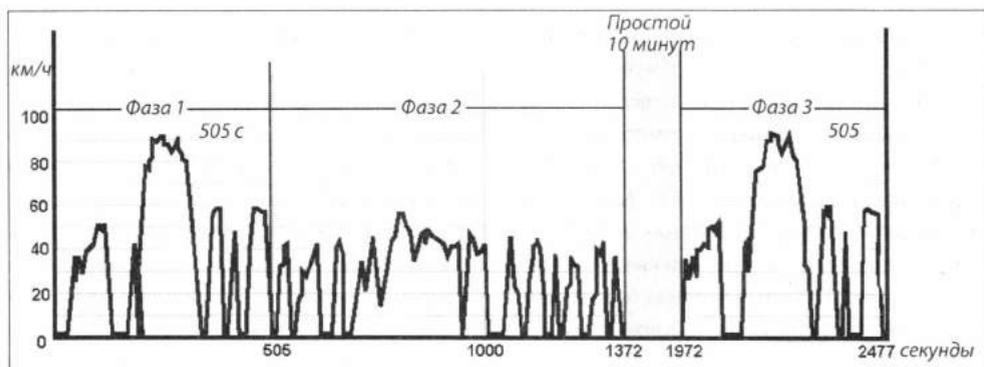


Рис. 2.4. Американский цикл движения FTP 75 (Federal Test Procedure)

Длительность цикла 1372 секунд + 505 секунд = 1877 секунд. Длина цикла 11,04 миль, 17763 метра (1 миля = 1609 м). Средняя скорость 34,1 км/ч. Максимальная скорость 91,2 км/ч

На рис. 2.3 изображен цикл движения NEDC для типовых испытаний легковых автомобилей.

Различия между региональными циклами движения показаны на рис. 2.4. Американский цикл движения показан на примере FTP-75. Это всего лишь один из стандартных испытательных циклов, принятых в США. Остальные, не описанные здесь циклы — это загородный цикл (Highway Cycle), цикл SFTP, цикл US06 и цикл OBD, который также называют CARB Unified Cycle. Испытание FTP-75 состоит из трех фаз и паузы (простоя). Пауза в 10 минут в цикле FTP имитирует нахождение автомобиля в пробке, типичной при движении в большом американском городе. Третья фаза идентична первой. Максимальная скорость автомобиля при этом испытании заметно ниже, чем при испытаниях в Европе. Единых условий испытаний, таких как в Европе, в США нет.

Выброс ОГ на испытаниях определяется по следующей формуле:

$$(0,43 \times \text{фазы } 1 + 2) + (0,57 \times \text{фазы } 2 + 3)$$

У грузовиков и автобусов ОГ анализируются не с привязкой к расстоянию и характеристикам движения, а с привязкой к мощности двигателей в рамках испытаний из 13 этапов.

Стационарный метод испытаний заменен на динамический, содержащий близкие к реальным изменения нагрузки на двигатель.

2.4.1. Определение потерь на испарение

Важным объектом проверки при типовых испытаниях бензиновых двигателей на токсичность ОГ является испарение углеводородов. Независимо от выбросов вредных веществ в результате сгорания в двигателе углеводороды попадают в атмосферу из топливной системы также через испарение из негерметичных (неисправных или неудачно сконструированных) элементов топливной системы. При проверке токсичности ОГ или осмотре автомобилей на СТО этот параметр проверить невозможно. Законодатели полагаются на то, что системы функционируют или отдельные элементы (например, система вентиляции топливного бака и его герметичность) контролируются системой бортовой диагностики (OBD). Испарения у дизельных двигателей в силу низкой летучести компонентов дизельного топлива играют второстепенную роль.

Стандартным методом определения потерь на испарение является метод SHED.

При этом методе автомобиль помещается в газонепроницаемую камеру, и его топливный бак примерно наполовину заполняется контрольным бензином заданной температуры (от +10 до +14,5°C). Затем измеряется концентрация углеводородов в испытательной камере. После этого в течение часа температура топлива повышается на 14°C. По достижении конечной температуры снова измеряется концентрация углеводородов в испытательной камере. Окна и багажник автомобиля во время измерения должны быть открыты. Чтобы измерить испарение в фазе охлаждения автомобиля, прогретый автомобиль помещается в испытательную камеру, в которой в течение одного часа измеряется увеличение испарения. Масса испарившихся углеводородов на обоих испытаниях не должна превышать 2 г. В перспективе следует ожидать дальнейшего ужесточения требований к испарению углеводородов (испытание, аналогичное описанному выше, проводится в течение суток при температуре от +20 до +35°C).

2.4.2. Анализ ОГ по методу CVS

Выбросы вредных веществ автомобилями определяются на беговых барабанах. Пока автомобиль «движется» на барабанах в соответствии с определенными циклами движения (цикл NEDC), откалиброванные измерительные системы определяют концентрацию отдельных компонентов выхлопа. Конечно, в ходе измерений возможны ошибки. Чтобы исключить их, выполняется несколько измерений или серий измерений, из результатов которых затем выводится среднее значение. Свести возможные ошибки к минимуму можно и путем использования различных измерительных приборов и испытательных стендов.

Метод CVS начали использовать в 1972 году в США для анализа токсичности ОГ на легковых автомобилях и легких грузовиках

с дизельными двигателями. Технология CVS состоит в следующем: после взятия проб в объем ОГ добавляется эквивалентное объему пробы количество чистого воздуха, при этом суммарный объем ОГ и добавленного воздуха поддерживается постоянным.

Преимущества этого метода состоят в следующем:

- учет реального индивидуального объема выхлопных газов;
- реальное определение параметров движения в каждый момент времени (разгон, торможение);
- предотвращение конденсации водяного пара;
- уменьшение потерь окислов азота;
- предотвращение взаимных реакций компонентов выхлопа (особенно CH).

2.4.2.1. Описание метода CVS

Принципиальная схема стенда для анализа выхлопных газов в рамках типового испытания автомобиля изображена на рис. 2.5. Работа производится следующим образом. Выхлопные газы автомобиля при его работе по предписанному испытательному циклу разбавляются чистым воздухом. Суммарный объем ОГ и чистого воздуха поддерживается постоянным даже при изменении нагрузки на двигатель автомобиля. Из разбавленного чистым воздухом выхлопа непрерывно отбираются пробы, которые аккумулируются в специальных емкостях. Концентрация вредных веществ в этих пробах соответствует среднему значению концентрации отобранной выхлопной смеси. Таким образом, на протяжении испытательного цикла точно известен общий объем газа. На основе общего объема и концентрации вредных веществ в сборной емкости можно вычислить массу вредных веществ. Во избежание искажений измеренных значений из разбавляющего воздуха берутся пробы и также

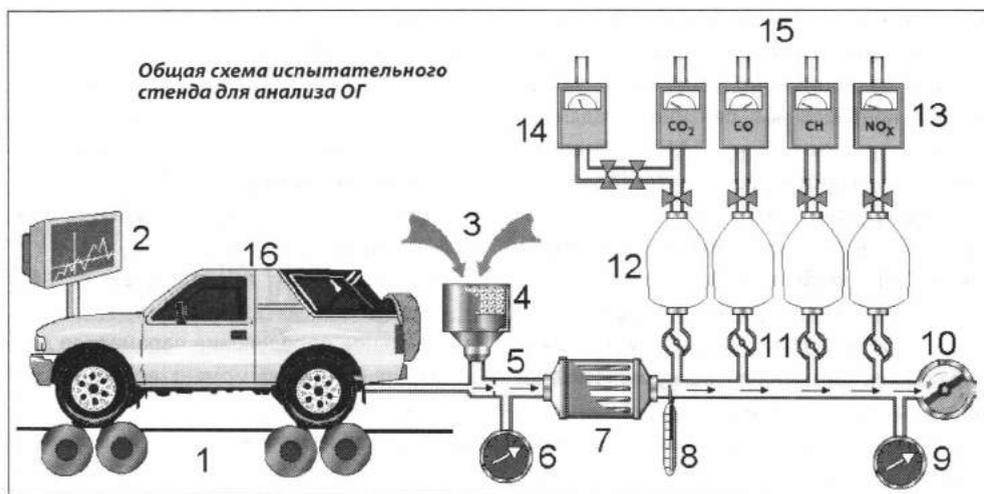


Рис. 2.5. Испытательный стенд для анализа ОГ

- | | |
|---|---|
| <p>1. Беговые барабаны</p> <p>2. Индикация/управление циклом движения</p> <p>3. Поддача наружного воздуха</p> <p>4. Фильтр наружного воздуха</p> <p>5. Канал разбавления воздуха</p> <p>6. Контроль давления</p> <p>7. Охладитель</p> <p>8. Контроль температуры ОГ</p> | <p>9. Контроль давления ОГ</p> <p>10. Ротационный насос</p> <p>11. Вентиль для взятия проб ОГ</p> <p>12. Сборник ОГ</p> <p>13. Измерительные приборы для CO_2, CO, CH, NO_x</p> <p>14. Сажевые фильтры для дизельных двигателей</p> <p>15. К выпуску</p> <p>16. Испытуемый автомобиль</p> |
|---|---|

анализируются на содержание вредных веществ. Это позволяет корректировать точность измерений.

Для достижения постоянного объемного расхода используются обычные вентиляторы с соплом Вентури или ротационные воздуходувки. Во избежание конденсации углеводородов с высокой температурой кипения и для испарения уже сконденсировавшихся в газовой смеси углеводородов требуется нагрев всей системы отбора примерно до 190°C .

Если при типовом испытании необходимо учитывать и предельное содержание частиц, то метод испытания нужно модифицировать. В измерительную установку встраивается т.н. «разбавительный туннель» с высокой внутренней турбулентностью

и дополняется точками измерения с фильтрами для улавливания частиц. Из-за разбавления в соотношении от 1:8 до 1:10 измеряемые концентрации очень малы. Необходимо использовать анализаторы, чувствительность которых будет выше в это количество раз. Везде, где применяется метод CVS, используются единые принципы измерения для анализа компонентов выхлопа:

- определение концентрации CO и CO_2 с помощью инфракрасных абсорбционных анализаторов NDIR (Non-Dispersive-Infrared);
- определение концентрации NO_x с помощью устройств, работающих по принципу хемилюминесценции (CLD, Chemo-Lumineszenz-Detektor);

□ гравиметрическое определение выбросов твердых частиц. Измерение выполняется специальными весами с точностью до одной миллионной грамма.

Ниже кратко описаны методы измерений, используемые для промышленности и типовых испытаний.

2.4.2.2. Метод FID

Аббревиатура FID расшифровывается как Flame Ionisation Detector (пламенно-ионизационный детектор). Этот метод используется при промышленной разработке двигателей и при анализе выхлопных газов в ходе типовых испытаний автомобилей. Данный детектор используется для обнаружения в газовых смесях органических соединений. Точность измерений при этом методе составляет от нескольких промилле (ppm) до 100%. Поскольку температура пробы достигает 300°C, этот метод измерений нечувствителен к колебаниям температуры в помещении.

2.4.2.3. Метод NDIR

NDIR расшифровывается как Non-Dispersive Infra Red (недиспергирующий инфракрасный анализатор). Принцип измерения основан на поглощении многоатомными неэлементарными газами излучений в инфракрасном диапазоне в пределах

строго определенного характеристического спектра. Масса компонентов выхлопа относится к этим газам (за исключением кислорода). Чем больше в выхлопе компонентов газа одного типа, тем больше инфракрасного света определенной длины волны поглощает газ. Поскольку компоненты CO, CO₂ и CH поглощают излучение с разными длинами волн, их концентрацию можно измерить с помощью специальной инфракрасной техники в общей измерительной камере. Эти камеры называют *трехкомпонентными*, на рис. 2.6 показана их принципиальная схема.

Длины волн отдельных компонентов выхлопа:

CO = 4,7 мкм;

CO₂ = 4,3 мкм;

CH = 3,3 мкм.

Расположенный за инфракрасным фильтром инфракрасный датчик измеряет долю непоглощенного излучения соответствующей длины волны и направляет сигнал на электронику измерительного прибора. Специальные сигналы датчиков давления и температуры автоматически используются в качестве коррекционных величин для определения условий измерения в измерительной камере. Расположенная между инфракрасным лучом и измерительной

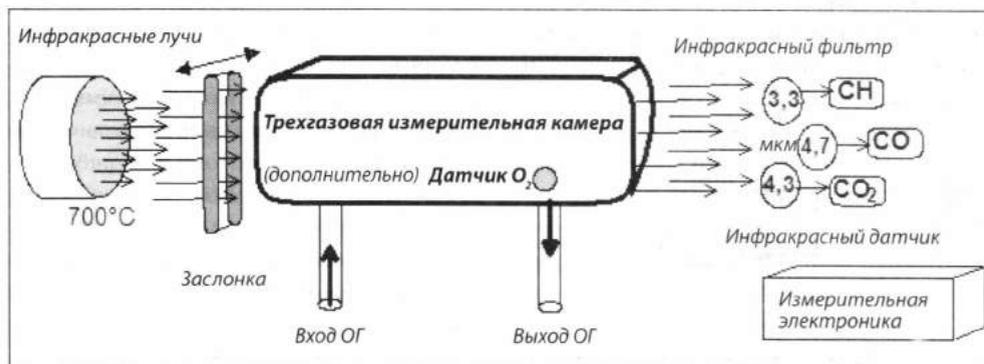


Рис. 2.6. Принципиальная схема трехкомпонентной измерительной камеры

камерой заслонка через определенные интервалы прерывает инфракрасный луч. Это упрощает обработку сигналов измерительной электроникой.

2.4.2.4. Электронный метод измерения концентрации кислорода

Поскольку методом NDIR нельзя определить концентрацию кислорода (он не поглощает инфракрасные лучи), то на выходе измерительной камеры или в отдельной измерительной камере устанавливается электрохимический датчик кислорода. В зависимости от содержания кислорода в выхлопе меняется поток электронов между катодом и анодом датчика. Падение напряжения на нагрузочном резисторе служит показателем содержания кислорода в выхлопе и анализируется измерительной электроникой. Так как нагрузочный резистор имеет зависимость от температуры, то даже при разных температурах окружающей среды гарантируется постоянная точность измерений. Срок службы датчика кислорода ограничен процессами окисления. Принципиальная схема кислородного датчика изображена на рис. 2.7.

2.4.2.5. Определение массы частиц

Это измерение используется при разработке двигателей. Выхлопные газы проходят через специальный фильтр, после чего проводится взвешивание чистого и загрязненного

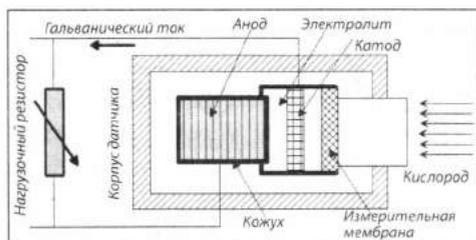


Рис. 2.7. Схема гальванического датчика кислорода

фильтров на специально откалиброванных весах и сравнение результатов. Так определяется масса частиц, содержащихся в определенном объеме ОГ. Поскольку материал фильтра гигроскопичен, взвешивание выполняется при постоянной влажности и температуре. Замечено, что обычные стекловолоконные фильтры поглощают воду и углеводороды сильнее, чем стекловолоконные фильтры с покрытием из тефлона. При методе с фильтрацией показателем улавливания частиц сажи служит потемнение фильтрующего листа. Обработка данных выполняется путем сравнения полученных результатов со шкалой Бахараха - Гротона или с показателем дымности ОГ по Bosch. На рис. 2.8 показан принцип измерения массы частиц.

2.5. Обязательства автопромышленности по снижению расхода топлива и выбросов CO₂

Улучшения качества воздуха можно добиться только при строгом соблюдении норм токсичности ОГ во всей Европе, а лучше — во всем мире для всех автомобилей. Несмотря на уже достигнутые успехи и снижение (в среднем) токсичности ОГ у современных автомобилей, в атмосферу по-прежнему выбрасываются значительные объемы вредных веществ. Кроме того, с 1990 года по настоящее время количество автомобилей в мире и их среднегодовые пробеги значительно увеличились.

В Европе после долгих обсуждений Еврокомиссия приняла директиву «Программа для автомобильных масел». Эта директива обязывает производителей автомобилей, а также производителей минеральных масел принимать



Рис. 2.8. Камера для измерения массы частиц

меры по уменьшению вредных выбросов. Данная программа включает директиву по выхлопным газам, регламент типовых испытаний и директиву по проверке токсичности выхлопа. Наиболее токсичными компонентами ОГ признаны в первую очередь оксид углерода, мелкодисперсная пыль, оксид азота, озон и бензол. В странах Европы были установлены следующие единые предельные значения концентрации этих веществ в $1 \text{ м}^3 \text{ ОГ}$:

- оксид азота 200 мкг
- оксид углерода 10 мкг
- бензол 10 мкг
- озон 180 мкг
- твердые частицы 50 мкг.

Заметное ужесточение правил техобслуживания и контроля должно гарантировать стабильность экологических и экономических параметров автомобилей на протяжении всего срока их службы (эксплуатации). Тем самым программа для автомобильных масел создала существенные предпосылки для обязательного оснащения производимых в Европе автомобилей системами OBD.

Основой для уменьшения выбросов углекислого газа являются положения Киотского протокола, признанные большинством европейских стран. Объединение европейских автопроизводителей (ACEA) добровольно взяло на себя обязательство по снижению средних

выбросов CO_2 у вновь регистрируемых легковых автомобилей. Выбросы CO_2 на один автомобиль снижаются в среднем с 186 г/км до 140 г/км, а затем до 120 г/км. Средний расход топлива у автомобилей с бензиновым двигателем одного производителя должен составить 5,8 л (в перспективе — 5,0 л), а с дизельным двигателем — 5,2 л (4,5 л) на 100 км.

На рис. 2.9 показано состояние обязательств по снижению выбросов CO_2 .

Существуют различные меры снижения выбросов CO_2 . Примечательно, что наиболее эффективные из этих мер — не оснащение автомобилей какими-то особыми системами и устройствами, а улучшение организации дорожного движения и изменение субъективного поведения водителей. Так, значительного снижения выбросов CO_2 можно было бы достичь путем совершенствования транспортного законодательства и дорожной инфраструктуры, без больших затрат на автотехнику. Для снижения выбросов CO_2 в атмосферу необходимо объединение усилий всех причастных к этому ведомств и отраслей промышленности, в том числе и автотранспортной отрасли, ведь доля эксплуатируемых в Германии автомобилей составляет 18,5% от суммарного объема выбросов углекислого газа в этой стране.

Выбросы CO_2 можно уменьшить только путем снижения расхода топлива. Системы

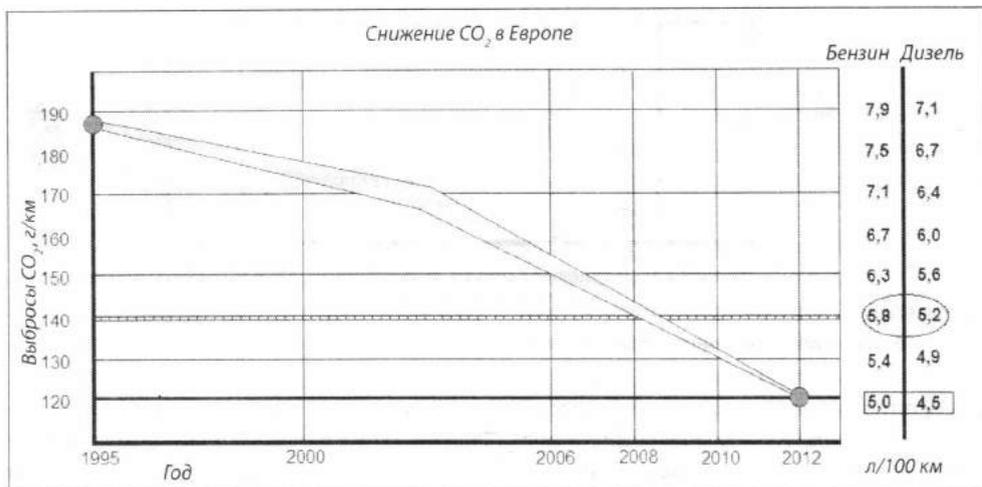


Рис. 2.9. Состояние снижения выбросов углекислого газа в Европе

фильтрации и катализаторы не способны повысить экономичность автомобиля.

Подсчитано, что бензиновый автомобильный двигатель, сжигая при работе один литр топлива, «производит» 2,33 кг CO₂, дизельный — 2,62 кг CO₂. При среднем расходе 7 л на 100 км и среднегодовом пробеге 10 000 км

получается, что один автомобиль ежегодно выбрасывает в атмосферу около 1,6–1,8 т CO₂.

Если же средний расход топлива снизить до 1 л на 100 км то бензиновый автомобиль будет выбрасывать в среднем 24 г CO₂ на километр пробега, а дизельный — около 27 г CO₂ на километр.

Таблица 2.7. Возможности снижения расхода топлива

Только зеленый свет (зеленая волна), избегание пробок	Около 40%	Оптимизация системы управления двигателем и КПП	10%
Экономичная манера езды у всех водителей	15-25%	Предварительный электроподогрев двигателя и сокращение фазы прогрева	2-8%
Отказ от поездок на короткие расстояния и экономичная манера езды	5-10%	Оптимизация вспомогательных агрегатов двигателя	2%
Использование систем управления дорожным движением	15-35%	Снижение сопротивления качению шин	1%
Технические и конструктивные меры для дизельных двигателей	10-15%	Уменьшение аэродинамического сопротивления	1-3%
Технические и конструктивные меры для бензиновых двигателей	15-20%	Уменьшение трения в двигателе и КПП	1-2%
Повышение заполняемости салона	20-30%	Повышение качества и оптимизация состава топлива	1-3%
Ограничение скорости на автобанах до 120 км/ч	7-10%	Сокращение массы автомобиля	5-10%

3. КОМПОНЕНТЫ ВЫХЛОПА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Основными источниками выбросов автомобиля являются двигатель внутреннего сгорания, испарение топлива через систему вентиляции топливного бака, а также ходовая часть: в результате трения шин о дорожное покрытие, износа тормозных колодок и коррозии металлических деталей независимо от выбросов двигателя образуются частицы мелкодисперсной пыли. При эрозии катализатора выделяются платина, палладий и родий, а при износе накладок сцепления также выделяются токсичные вещества, такие как свинец, медь и сурьма. Для этих вторичных выбросов автомобилей также должны быть установлены предельные значения.

3.1. Вредные вещества

Отработавшие газы (ОГ) автомобиля состоят из множества веществ или групп веществ. Преобладающей частью компонентов ОГ являются неядовитые, содержащиеся в обычном воздухе газы. Как показано на рис. 3.1, лишь небольшая часть ОГ является вредной для окружающей среды и здоровья людей. Несмотря на это, необходимо дальнейшее снижение концентрации токсичных компонентов ОГ. Хотя современные автомобили сегодня дают очень чистый выхлоп (у автомобилей Евро-5 он в некоторых аспектах даже чище всасываемого воздуха), огромное число эксплуатируемых автомобилей, кото-

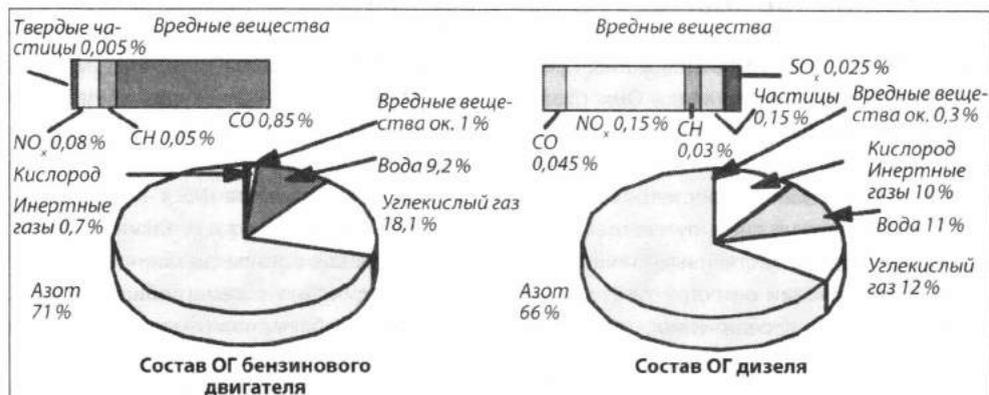


Рис. 3.1. Состав выхлопных газов

рых только в Германии насчитывается около 56 млн единиц, выбрасывает значительное количество ядовитых и вредных для здоровья веществ. Исправить ситуацию призваны новые технологии и введение более жестких требований к экологичности ОГ.

3.2. Оксид углерода (CO)

Оксид углерода (угарный газ) CO — газ без цвета и запаха. Это яд для дыхательной системы, нарушающий функцию центральной нервной и сердечно-сосудистой систем. В человеческом организме он связывает красные кровяные тельца и вызывает кислородное голодание, которое за короткое время приводит к смерти от удушья. Уже при концентрации в воздухе 0,3% по объему угарный газ в очень короткое время убивает человека. Действие зависит от концентрации CO в воздухе, от длительности и глубины вдыхания. Лишь в среде с нулевой концентрацией CO он может быть выведен из организма через легкие.

Оксид углерода всегда возникает при недостатке кислорода и при неполном сгорании.

3.3. Углеводороды (CH)

Углеводороды выбрасываются в атмосферу в виде несгоревшего топлива. Они оказывают раздражающее действие на слизистые оболочки и органы дыхания человека. Дальнейшая оптимизация рабочего процесса двигателя возможна лишь путем совершенствования производственных технологий и углубления знаний о процессах сгорания. Углеводородные соединения возникают в виде парафинов, олефинов, ароматов, альдегидов (особенно формальдегидов) и полициклических соединений. Эксперименталь-

но доказаны канцерогенные и мутагенные свойства более 20 полициклических ароматических углеводородов, которые в силу своего малого размера способны проникать до легочных пузырьков. Самыми опасными углеводородными соединениями считаются бензол (C_6H_6), толуол (метилбензол) и ксилол (диметилбензол, общая формула $C_6H_4(CH_3)_2$). К примеру, бензол может вызвать у человека изменения картины крови и привести к возникновению рака крови (лейкемии).

Причиной выброса углеводородов в атмосферу всегда является неполное сгорание топлива, недостаток кислорода, а при очень обедненной смеси — слишком медленное сгорание топлива.

3.4. Окислы азота (NO_x)

При высокой температуре сгорания (более $1100^\circ C$) содержащийся в воздухе реакционно инертный азот активируется и вступает в реакции со свободным кислородом в камере сгорания, образуя окислы. Они очень вредны для окружающей среды: становятся причинами образования смога, гибели лесов, выпадения кислотных дождей; также окислы азота являются переходными веществами для образования озона. Они — яд для крови, вызывают рак. В процессе сгорания возникают различные окислы азота — NO , NO_2 , N_2O , N_2O_5 — имеющие общее обозначение NO_x . При соединении их с водой возникают азотная (HNO_3) и азотистая (HNO_2) кислоты. Диоксид азота (NO_2) — красно-коричневый ядовитый газ с едким запахом, раздражающий органы дыхания и образующий соединения с гемоглобином крови. Это самый проблематичный из всех окислов азота и в перспективе для него будут действовать отдельные нормы по допустимой концентрации. Доля NO_2 в общих выбросах

оксидов азота в будущем должна будет составлять менее 20%. В директиве 1999/30/EG с 2010 года предельно допустимая концентрация NO_2 установлена на уровне 40 мкг/м³. Соблюдение этой предельной концентрации предъявляет особые требования к защите от вредных выбросов.

Самые благоприятные условия для образования окислов азота — высокая температура сгорания обедненной топливозвоздушной смеси. Системы рециркуляции ОГ позволяют снизить долю окислов азота в выхлопе автомобилей.

3.5. Оксиды серы (SO_x)

Оксиды серы образуются из содержащейся в топливе серы. В процессе сгорания сера реагирует с кислородом и водой, образуя оксиды серы, серную (H_2SO_4) и сернистую (H_2SO_3) кислоты. Оксид серы — основная составляющая кислотных дождей и причина гибели лесов. Это водорастворимый едкий газ, воздействие которого на организм человека проявляется в покраснении, опухании и усилении секреции влажных слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей. Диоксид серы воздействует на слизистые носоглотки, бронхов и глаз. Наиболее часто местом «атаки» диоксида серы являются бронхи. Сильное раздражающее воздействие на дыхательные пути объясняется образованием сернистой кислоты во влажной среде. Вглубь дыхательных путей попадают взвешенный в мелкодисперсной пыли диоксид серы SO_2 и аэрозоль серной кислоты. Наиболее чувствительно реагируют на растущую концентрацию диоксида серы в воздухе астматики и маленькие дети. Высокое содержание серы в топливе сокращает срок службы катализаторов бензиновых и дизельных двигателей.

Снижение выбросов диоксида серы реализуется путем ограничения содержания серы в топливе. Цель — топливо, не содержащее серы.

3.6. Сероводород (H_2S)

Последствия воздействия этого газа на органическую жизнь пока не совсем ясны науке, однако известно, что у человека он способен вызвать тяжелые отравления. В тяжелых случаях возникает угроза удушья, потеря сознания и паралич центральной нервной системы. При хроническом отравлении отмечается раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей. Запах сероводорода ощущается уже при концентрации его в воздухе в количестве 0,025 мл/м³.

Сероводород в выхлопных газах возникает при определенных условиях, причем, несмотря даже на наличие катализатора, и зависит от содержания серы в топливе.

3.7. Аммиак (NH_3)

Вдыхание аммиака приводит к раздражению дыхательных путей, кашлю, одышке и удушью. Также аммиак вызывает воспаляющиеся покраснения на коже. Прямое отравление аммиаком случается редко, так как даже большие его количества быстро превращаются в мочевину. При прямом вдыхании большого количества аммиака функции легких зачастую нарушаются на долгие годы. Особенно опасен этот газ для глаз. При сильном воздействии аммиака на глаза могут наступить помутнение роговицы и слепота.

При определенных условиях аммиак может образоваться даже в катализаторе. В то же время аммиак оказывается полезен в качестве восстановителя для катализаторов SCR.

Таблица 3.1. Классификация частиц

Обозначение частицы	Порядок величины	Примечание
TSP	> 15 мкм	Взвешенные частицы
Грубые частицы	> 2,5 мкм	Грубые частицы
PM ₁₀	> 10 мкм	Фракция, проникающая в грудную клетку
PM _{2,5}	> 2,5 мкм	Фракция, проникающая в альвеолы
PM ₁	> 1,0 мкм	Твердые и жидкие аэрозоли
UFP	< 100 нм	Ультрамелкие частицы
Наночастицы	< 50 нм	Все частицы этого размера

3.8. Сажа и частицы

Сажа — это чистый углерод и нежелательный продукт неполного сгорания углеводородов. Причиной образования сажи является недостаток кислорода при сгорании или преждевременное охлаждение сжигаемых газов. Частицы сажи часто связываются с несгоревшими остатками топлива и моторного масла, а также воды, продуктов износа деталей двигателя, сульфатов и пепла. Частицы сильно отличаются друг от друга по форме и размеру.

В таблице 3.1 показана классификация и размеры частиц. Наиболее часто при работе двигателя образуются частицы диаметром около 100 нанометров (0,0000001 м или 0,1 мкм); такие частицы способны естественным путем попадать в легкие человека. При

агломинации (склеивании) частичек сажи друг с другом и другими компонентами масса, количество и распределение частиц в воздухе могут значительно меняться. Основные компоненты частиц представлены на рис. 3.2.

Благодаря своей губчатой структуре (см. рис. 3.3) частички сажи могут захватывать как органические, так и неорганические вещества, образующиеся при сгорании топлива в цилиндрах двигателя. В результате масса частичек сажи может возрасти в три раза. Это будут уже не отдельные частички углерода, а правильной формы агломераты, образующиеся вследствие молекулярного притяжения. Размер таких агломератов может достигать 1 мкм. Выбросы сажи и других частиц особенно активно происходят при сгорании дизельного топлива. Эти выбросы считаются канцерогенными. Опасные нано-

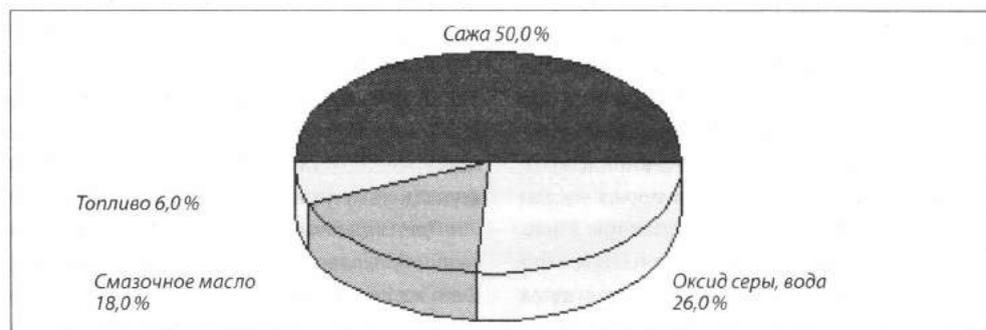


Рис. 3.2. Основные компоненты частиц

Вид частиц	Углеводороды				
	Компоненты сажи разных форм и размеров			Кристаллические Сублимированные	Конденсированные
Органические частицы					
Неорганические частицы					
	Зола от при- сажок масла и топлива	Ржавчина Соли	Металлическая стружка	Керамические волокна	Вода

Рис. 3.3. Состав частиц

частицы представляют количественно большую долю частиц, но по массе составляют лишь небольшой процент. По этой причине предлагается ограничивать содержание частиц в ОГ не по массе, а по количеству и распределению. В перспективе предусмотрено дифференцирование между размером частиц и их распределением.

Выбросы частиц при работе бензиновых двигателей на два-три порядка ниже, чем при работе дизельных двигателей. Тем не менее, данные частицы обнаруживаются даже в выхлопе бензиновых двигателей с непосредственным впрыском топлива. Поэтому есть предложения по ограничению предельного содержания частиц в ОГ автомобилей.

Сублимация — непосредственный переход вещества из твердого состояния в газообразное, и наоборот. Сублиматом называют твердый осадок газа при его охлаждении.

3.9. Мелкая пыль

При работе двигателей внутреннего сгорания образуются также особо мелкие частицы — пыль. Она состоит главным образом из частиц полициклических углеводородов, тяжелых металлов и соединений серы. Часть фракций пыли способна проникать в легкие, другие фракции в легкие не проникают. Фракции размером более 7 мкм менее опасны, так как отфильтровываются собственной системой фильтрации человеческого организма. Различный процент более мелких фракций (менее 7 мкм) проникают в бронхи и легочные пузырьки (альвеолы), вызывая локальное раздражение. В области легочных пузырьков растворимые компоненты попадают в кровь. Собственная система фильтрации организма справляется не со всеми фракциями мелкой пыли. Атмосферные пылевые загрязнения называют также аэрозолями. Они могут быть

в твердом или жидком состоянии и в зависимости от размеров могут иметь различный период существования. При движении мельчайшие частички могут соединяться в более крупные с относительно стабильным периодом существования в атмосфере. Такими свойствами в основном обладают частицы диаметром от 0,1 мкм до 1 мкм.

При оценке образования мелкой пыли в результате работы автомобильного двигателя следует отличать эту пыль от пыли, образующейся естественным путем: пыльцы растений, дорожной пыли, песка и многих других веществ. Нельзя недооценивать и такие источники мелкой пыли в городах, как износ тормозных колодок и шин. Так что выхлопы дизельных двигателей — не единственный «источник» пыли в атмосфере.

3.10. Синий и белый дым

Синий дым возникает во время работы дизельного двигателя при температуре ниже 180°C из-за мельчайших конденсирующихся капелек масла. При температуре выше 180°C эти капельки испаряются. Несгоревшие углеводородные компоненты топлива участвуют в образовании синего дыма и при температурах от 70°C до 100°C. Большое количество синего дыма указывает на большой износ цилиндропоршневой группы, стержней и направляющих втулок клапанов. Слишком поздно выставленное начало подачи топлива также может быть причиной образования синего дыма.

Белый дым состоит из водяного пара, возникающего во время сгорания топлива и становящегося заметным при температуре ниже 70°C. Особенно характерно появление белого дыма у форкамерных и вихрекамерных дизелей после холодного запуска. Причиной белого дыма являются также несгоревшие углеводородные компоненты и конденсаты.

3.11. Углекислый газ (CO₂)

Углекислый газ — это бесцветный, негорючий, кисловатый на вкус газ. Иногда его ошибочно называют угольной кислотой. Плотность CO₂ примерно в 1,5 раза выше плотности воздуха. Углекислый газ является составной частью выдыхаемого человеком воздуха (3–4%) При вдыхании воздуха, содержащего 4–6% CO₂, у человека возникают головные боли, шум в ушах и учащение сердцебиения, а при более высоких концентрациях CO₂ (8–10%) наступают приступы удушья, потеря сознания и остановка дыхания. При концентрации более 12% наступает смерть от кислородного голодания. К примеру, горящая свеча тухнет при концентрации CO₂ 8–10% по объему. Хотя углекислый газ и относится к удушающим веществам, но как компонент выхлопа двигателя не считается ядовитым. Проблема в том, что углекислый газ, как показано на рис. 3.4, значительно способствует глобальному парниковому эффекту.

Вместе с ним развитию парникового эффекта способствуют метан, закись азота (веселящий газ, оксид диазота), фторуглероды и гексафторид серы. Углекислый газ, водяной пар и микрогазы влияют на радиационный баланс Земли. Газы пропускают видимый свет, но поглощают тепло, отражаемое от земной поверхности. Без этой теплозадерживающей способности средняя температура на поверхности Земли была бы около –15°C.

Это называется природным парниковым эффектом. При увеличении концентрации микрогазов в атмосфере растет доля поглощаемого теплового излучения и возникает дополнительный парниковый эффект. По оценкам экспертов, к 2050 году средняя температура на Земле вырастет на +4°C. Это может привести к повышению уровня моря более чем на 30 см, вследствие чего начнут таять горные ледники и полярные ледяные «шапки», изме-

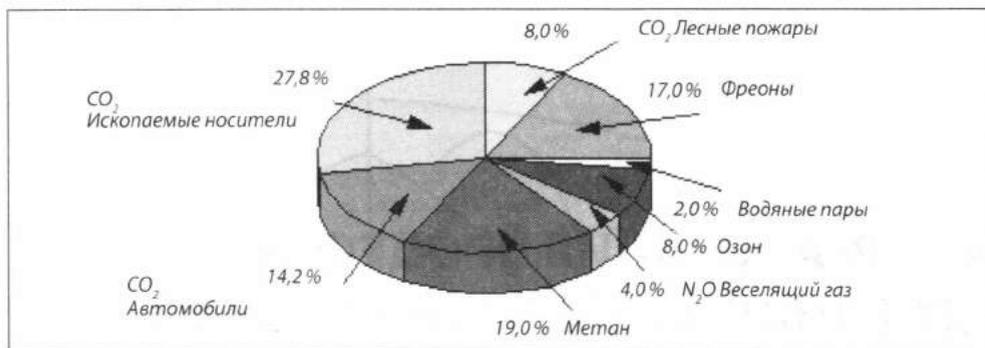


Рис. 3.4. Доля газов в парниковом эффекте

няется направление морских течений (в том числе Гольфстрима), изменятся воздушные потоки, а моря затопят огромные пространства суши. Вот к чему может привести парниковые газы, образующиеся при деятельности людей.

Суммарные антропогенные выбросы CO₂ составляют 27,5 млрд т в год. При этом Германия относится к крупнейшим источникам CO₂ в мире. Энергетически обусловленные выбросы CO₂ составляют в среднем около миллиарда тонн в год. Это около 5% всего производимого в мире CO₂. Средняя семья из 3 человек в Германии производит в год 32,1 т CO₂. Выбросы CO₂ можно уменьшить только путем снижения расхода энергии и топлива. Пока энергия добывается путем сжигания ископаемых носителей проблема образования чрезмерного количества углекислого газа будет сохраняться. Поэтому срочно необходим поиск альтернативных источников энергии. Автопромышленность интенсивно работает над решением этой проблемы.

Однако бороться с парниковым эффектом можно только в глобальном масштабе. Даже если в пределах ЕС будет достигнут большой прогресс в снижении выбросов углекисло-

го газа, в других странах в ближайшие годы может, напротив, произойти значительный рост количества выбросов. США с большим отрывом лидируют в производстве парниковых газов, как в абсолютном выражении, так и в пересчете на душу населения. Имея долю в населении Земли всего 4,6%, они производят 24% мировых выбросов углекислого газа. Это примерно вдвое больше, чем в Китае, доля которого в населении Земли составляет 20,6%. 130 миллионов автомобилей в США (это меньше 20% от общего числа автомобилей на планете) производят столько же углекислого газа, сколько вся промышленность Японии — четвертой страны в мире по выбросам CO₂.

Без дополнительных мер по защите климата глобальные выбросы CO₂ вырастут к 2020 году на 39% (относительно 2004 г.) и составят 32,4 млрд т в год. Выбросы углекислого газа в США в ближайшие 15 лет увеличатся на 13% и превысят 6 млрд т. В Китае следует ожидать увеличения выбросов CO₂ на 58%, до 5,99 млрд т, а в Индии — на 107%, до 2,29 млрд т. В странах ЕС, напротив, прирост составит лишь около одного процента.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ И ВЫБРОСЫ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

4.1. Общие требования

При оценке выбросов вредных веществ двигателя нужно учитывать, что каждый цилиндр представляет собой закрытую систему. Суммарные выбросы вредных веществ двигателя складываются из отдельных выбросов каждого из работающих цилиндров. Чем меньше будет выброс вредных веществ в каждом цилиндре, тем меньше будут суммарные выбросы двигателя. Отсюда вытекают три основных требования к конструкции камер сгорания, конструкции и конструктивным параметрам систем питания, выпуска отработавших газов и управления двигателем, а также использованию различных методов наддува. Вот эти требования:

- точное дозирование воздуха и топлива в каждом цилиндре при любых режимах работы двигателя;
- в каждом цилиндре должно быть одинаковое количество топливовоздушной смеси;
- в каждом цилиндре топливовоздушная смесь должна быть однородная по составу.

Современные двигатели с электронным управлением впрыском и зажиганием, а также двигатели с непосредственным впрыском топлива практически полностью соответствуют этим идеальным требованиям.

4.2. Коэффициент избытка воздуха

При сгорании топлива в цилиндрах двигателя происходят очень сложные химические и физические процессы. Процесс сгорания, как правило, протекает в несколько этапов (взрыв, расширение фронта пламени, диффузионное сгорание) и на него влияет множество специфических факторов и цепных реакций. В упрощенном виде процесс сгорания можно представить как окисление. Для сгорания 1 кг топлива необходима определенная масса кислорода. Зная состав топлива и содержание кислорода в воздухе ($20,6\% = 0,23$ кг кислорода на 1 кг воздуха), можно рассчитать, так называемый, минимальный расход воздуха, необходимый для полного сгорания топлива.

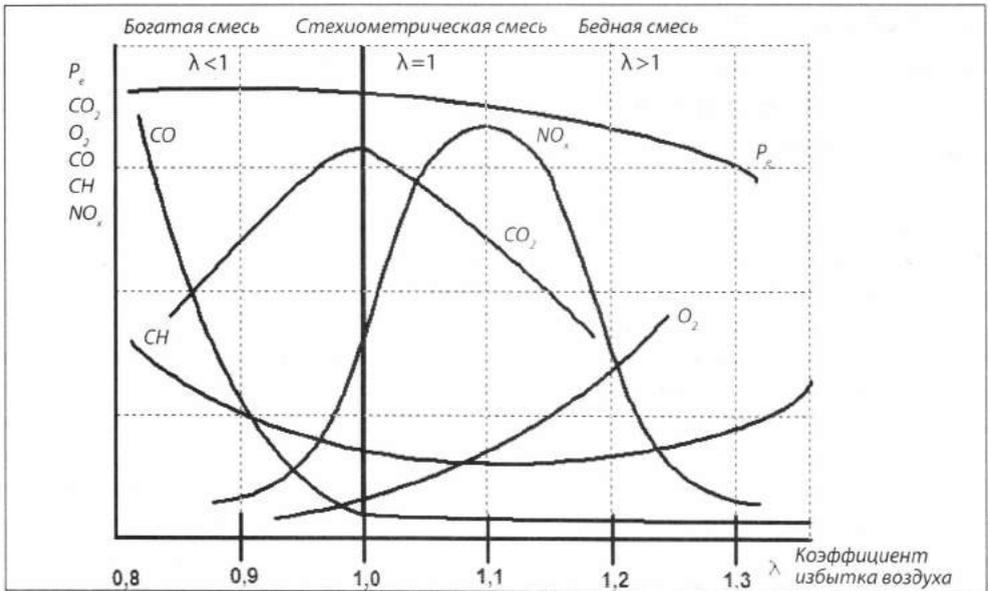


Рис. 4.1. Зависимость отдельных компонентов ОГ от коэффициента избытка воздуха

Для точного расчета необходим химический элементарный анализ топлива по пропорциям масс углерода, водорода, серы и кислорода. В среднем для полного сгорания 1 кг топлива требуется 14,7 кг воздуха ($\lambda = 1$).

Однако сгорание топлива в двигателе происходит не с теоретически минимальным расходом воздуха, а с фактическим расходом воздуха, поступившего в двигатель. Отношение количества воздуха, поступившего в двигатель, к количеству воздуха, которое теоретически необходимо для полного сгорания топлива, называют коэффициентом избытка воздуха и обозначают λ .

Коэффициент избытка воздуха — центральная величина во всей моторной технике, системах управления двигателем и OBD. Она определяется следующими значениями:

$\lambda = 1$ — теоретическая, идеальная, стехиометрическая горючая смесь;

$\lambda > 1$ — избыток воздуха или недостаток топлива (бедная смесь);

$\lambda < 1$ — недостаток воздуха или избыток топлива (богатая смесь).

Для воспламенения в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания смесь должна иметь определенные пропорции топлива и воздуха. Воспламенение и сгорание возможно лишь в определенных пределах воспламеняемости. Реальные пределы воспламеняемости у бензиновых и дизельных двигателей сильно различаются.

Возможные пределы воспламеняемости у обычных бензиновых двигателей находятся в диапазоне λ от 0,65 до 1,5.

При некоторых технологиях непосредственного впрыска, таких как GDI и FSI, может быть достигнуто значение 3,0.

Возможные пределы воспламеняемости у дизельных двигателей находятся в диапазоне λ от 1,1 до 7,0.

У современных дизельных двигателей с непосредственным впрыском топлива этот показатель может достигать 10,0 при работе на холостом ходу.

4.3. Коэффициент избытка воздуха и выбросы вредных веществ бензиновыми двигателями

Все важные параметры двигателя зависят от коэффициента избытка воздуха. Из-за очень сложных химических и физических процессов сгорания конструктивные параметры двигателя в плане мощности, крутящего момента, расхода топлива и выбросов вредных веществ, всегда являются суммой большого числа компромиссов. Если в камере сгорания образуется небольшое количество вредных веществ, то можно повысить эффективность систем очистки отработавших газов (например, катализатора). Основной проблемой всех высокооборотных ДВС является очень маленький интервал, в котором все сложные процессы должны протекать по возможности оптимально. На рис. 4.1 показана зависимость отдельных компонентов отработавших газов от коэффициента избытка воздуха.

Ниже приведены важнейшие условия образования вредных выбросов и зависимость мощности двигателя от коэффициента избытка воздуха. При этом рассматривается

только обычный рабочий диапазон традиционных бензиновых двигателей и — для упрощения понимания — только тенденции характеристик. У двигателей с непосредственным впрыском топлива выбросы углеводородов и NO_x смещаются в диапазон более бедных смесей.

Мощность

Бензиновые двигатели развивают максимальную мощность при $\lambda=0,9$, так как при этом используется почти весь всасываемый кислород. Но одновременно большая часть компонентов топлива не сгорает. При $\lambda > 1$ мощность снижается, так как неизрасходованному кислороду не с чем реагировать. Расход топлива при этом падает, так как почти все топливо сгорает.

Оксид углерода (CO)

Оксид углерода всегда образуется при недостатке кислорода, которого не хватает для полного сгорания топлива и превращения его в углекислый газ. Теоретически, начиная с $\lambda=1$, доля CO в отработавших газах должна быть равна нулю. Но поскольку сгорание происходит в закрытой системе и на охлаждаемых стенках камеры сгорания окисление прерывается, кроме того, сгорание проис-



Рис. 4.2. Направления перспективных разработок по организации процесса сгорания и снижения выбросов вредных веществ в бензиновых двигателях

Таблица 4.1. Ориентировочные значения компонентов ОГ

Компонент ОГ, единица измерения	Значение перед катализатором	Ориентировочное значение за катализатором	Фактические измеренные значения за катализатором				
			более 0,5	менее 0,5	более 0,5	на много меньше 0,5	менее 0,5
CO об.%	1,0 – 4,5	0 – 0,5	более 0,5	менее 0,5	более 0,5	на много меньше 0,5	менее 0,5
CH промилле	100 – 300	0 – 50	более 50	менее 50	более 50	на много больше 50	менее 50
CO ₂ об.%	8 – 13	14 – 16	менее 14	менее 14	менее 14	менее 14	менее 14
O ₂ %	0,3 – 2,5	0 – 0,5	менее 0,5	более 0,5	более 0,5	более 0,5	на много больше 0,5
λ	0,97 – 1,03	0,97 – 1,03	<0,97 слишком богатая	> 1,03 слишком бедная	постоянно 1	> 1,03 слишком бедная	> 1,03 слишком бедная
Возможные причины неисправности Применительно к заданным значениям нужно всегда обращать внимание на конкретные, предписанные изготовителем величины. Указанные значения действительны для холостых оборотов и прогретых до рабочей температуры двигателя и катализатора. Двигатель не должен иметь никаких механических неисправностей.			Неисправности в системе образования смеси, неисправен или не работает лямбда-зонд, неисправности в системе впуска	Неисправности в системе образования смеси, неисправен лямбда-зонд, всасывание воздуха через неплотности	Неисправен, не работает или состарился катализатор, неисправности лямбда-регулирования	Сбои зажигания, пропуски зажигания, неисправны или старые свечи зажигания, неисправности в механике двигателя	Подсасывание воздуха через неплотности или негерметичность за лямбда-зондом, проржавела система впуска

ходит с задержкой, а в «мертвых зонах» (например, зазор в области огневой перемишки) не происходит вовсе, то в бедной смеси также образуется оксид углерода.

Углеводороды (СН)

В диапазоне $\lambda < 1$ для полного сгорания топлива и превращения углеводородных соединений в углекислый газ и воду не хватает кислорода. Минимум выбросов углеводородов приходится на диапазон λ от 1,1 до 1,2. При еще более бедной смеси пропуски зажигания и задержка сгорания снова приводят к увеличению выбросов углеводородов.

Оксиды азота (NO_x)

Повышенные выбросы оксидов азота всегда происходят при сгорании более бедной смеси. Максимальный выброс оксидов азота происходит при $\lambda = 1,1$. Для образования оксидов азота необходимы два условия:

1) высокая температура сгорания, при которой активизируется содержащийся в воздухе инертный азот;

2) свободный кислород, который уже не может вступить в реакцию с углеродом и водородом.

Должны всегда выполняться оба условия. Они достигаются при коэффициенте избытка воздуха, составляющем около 1,1.

Ориентировочные значения для компонентов ОГ

В таблице 4.1 приведены общие ориентировочные значения для компонентов ОГ при безупречно работающей системе подготовки смеси. Часто уже по результатам измерения и грамотного анализа состава ОГ можно выполнить первичную диагностику и оценку ее погрешности. Поскольку отдельные компоненты ОГ образуются лишь при определенных условиях, можно ограничить объем диагностических работ. Обработка блоков измеря-

емых величин в режиме 1 системы OBD еще больше сужает круг неисправностей. Окислы азота при измерении ОГ на СТО не учитываются. Выбросы окислов азота должны измеряться под нагрузкой (с целью повышения температуры) на мощном испытательном стенде. Методы для вычисления количества окислов азота по другим компонентам ОГ слишком неточны и до сих пор не нашли применения.

4.4. Меры по снижению вредных выбросов, образующихся при работе бензиновых двигателей

В настоящее время автопроизводители и поставщики проводят очень дорогие исследования и разработки для соблюдения действующих и перспективных норм токсичности ОГ. Чем жестче становятся требования законодательства, тем больше требуется затрат (в том числе технических) на их соблюдение. Достигнутые за последние годы успехи были отмечены «легко» реализуемыми возможностями. В будущем необходимо выбирать новые пути, что также включает в себя разработку новых методов организации процессов сгорания и новые решения в «старых» системах. На рис. 4.2 и в таблице 4.2 показаны некоторые технические меры по снижению расхода топлива и выбросов вредных веществ для бензиновых двигателей, уже выпускаемых серийно или разрабатываемых для серийного выпуска. Зачастую прогресс в снижении расхода топлива и выбросов вредных веществ при работе двигателей дают только комбинации различных мер.

От подробного описания отдельных технических систем, приведенных в таблице 4.2, было решено отказаться, так как описание этих систем вышло бы далеко за рамки данной книги.

Таблица 4.2. Меры по уменьшению вредных выбросов у бензиновых двигателей

Возможность уменьшения вредных выбросов	Эффект, результат, примечание
Электронный впрыск бензина, адаптивные системы, регулирование крутящего момента двигателя	самое точное дозирование топлива на всех режимах и при любых нагрузках с соблюдением окружающих условий (системы Motronic), системы OBD, использование системы E-Gas для двигателей с регулировкой крутящего момента
Непосредственный впрыск бензина (по стенке, в воздушном потоке, струйный)	<ul style="list-style-type: none"> • возможны слишком бедные смеси в диапазоне частичной нагрузки • отсутствие дроссельной заслонки • богатая готовая к воспламенению смесь только на свече зажигания • в целом смесь в камере сгорания бедная (GDI или FSI)
Конструкция камеры сгорания	<ul style="list-style-type: none"> • маленькие, компактные, куполообразные камеры сгорания • из-за большой турбулентности могут вырасти компрессия и тепловой КПД
Положение свечей зажигания	<ul style="list-style-type: none"> • центральное положение свечей зажигания обеспечивает короткий путь пламени • компрессия и тепловой КПД могут увеличиться без опасности детонации
Многоклапанная техника	<ul style="list-style-type: none"> • предполагает компактные камеры сгорания и центральное положение свечей зажигания • из-за большой турбулентности получается очень хорошее смешивание • компрессия и тепловой КПД могут увеличиться без опасности детонации
Оптимизированная конструкция впускного коллектора (регулируемые системы всасывания)	<ul style="list-style-type: none"> • использование эффекта наддува • использование полностью регулируемых впускных коллекторов (напр. Multi Ram) • создание целенаправленной турбулентности воздуха (завихрение)
Регулируемая геометрия турбины (VTG), регулируемая геометрия компрессора, ступенчатый наддув, регистровый наддув, сочетание механического наддува и турбонаддува	<ul style="list-style-type: none"> • независимое от оборотов регулирование давления наддува • наддув высокого давления при непосредственном впрыске топлива • в настоящее время имеются проблемы с материалом из-за высокой температуры ОГ у бензиновых двигателей — до 1050°C, • возможны небольшие рабочие объемы с высокими мощностями и моментами, уменьшение размеров (напр. система TSI концерна VW)

Возможность уменьшения вредных выбросов	Эффект, результат, примечание
Регулируемые фазы газораспределения (цель — избавиться от распределительного вала, но идея пока на стадии разработки)	<ul style="list-style-type: none"> • рассматриваются электрические, электрогидравлические или электропневматические клапанные приводы без распределительного вала • на низких оборотах топливо не попадает в систему выпуска, из-за чего снижается выброс углеводородов • на высоких оборотах ОГ могут оставаться в цилиндре и из-за этой внутренней рециркуляции ОГ могут снизиться выбросы оксидов азота • возможно управление наполнением без дроссельной заслонки с регулировкой хода клапана (напр. Valvetronic у BMW) • оптимальное наполнение во всех диапазонах нагрузок и оборотов
Отключение цилиндров или регулируемое сжатие	<ul style="list-style-type: none"> • повышение КПД каждого цилиндра • более оптимальное адаптирование к текущим оборотам и нагрузкам двигателя • использование эксцентрично расположенных коленвалов • концепция SVC концерна Saab со степенью сжатия 8:1–14:1
Подача воздуха в ОГ незадолго до или сразу после их выхода из цилиндра (система впуска добавочного воздуха)	<ul style="list-style-type: none"> • реализация термического дожига в выпускной трубе • СН и СО окисляются при температурах выше 600 °С, в результате получают CO_2 и H_2O • в фазе холодного запуска катализатор быстрее нагревается до рабочей температуры
Рециркуляция ОГ (внутренняя, внешняя, с охлаждением)	<ul style="list-style-type: none"> • отработавшие газы относятся к инертным (негорючим) газам • снижается пиковая температура в камере сгорания и, соответственно, условие образования оксидов азота • снижается также заполнение цилиндров свежей порцией смеси • макс. процент рециркуляции ОГ 10 – 15% у бензиновых двигателей, 30–50% у дизельных двигателей и до 30% у бензиновых двигателей с непосредственным впрыском бензина • более высокий процент — до 70% — теоретически возможен в определенных рабочих точках • самовоспламенение от ОГ при методе CAI
Сокращение фазы прогрева, охлаждение с программным управлением, термоуправление	<ul style="list-style-type: none"> • предотвращение масляного и водяного охлаждения в фазе прогрева • снижение выбросов СО, СН и расхода топлива • использование насосов охлаждающей жидкости с электроприводом • катализатор быстрее нагревается до рабочей температуры • электронный термостат и насос охлаждающей жидкости с электроприводом • электронное термоуправление охлаждением

Возможность уменьшения вредных выбросов	Эффект, результат, примечание
Система зажигания с программным управлением, регулирование детонации и более оптимальное регулирование угла опережения зажигания, регулируемые зазоры между электродами свечей, лазерное зажигание или многократное зажигание	<ul style="list-style-type: none"> • стабильно высокий уровень энергии искры при любых нагрузках и оборотах, нет износа • оптимальный момент зажигания для всех возможных режимов работы • с регулировкой детонации компрессия и КПД могут повыситься без риска повреждения двигателя вплоть до физико-технических пределов • смещение угла зажигания в фазе прогрева в сторону более «позднего» для повышения температуры ОГ и нагрева катализатора • очень большая энергия зажигания у новых систем
Уменьшение внутреннего трения в двигателе и потерь во вспомогательных агрегатах	<ul style="list-style-type: none"> • новые материалы — напр. керамические клапаны, углеродные поршни, новые технологии нанесения покрытий на гильзы цилиндров и пр. • подключаемые вспомогательные агрегаты, такие как сервонасосы и насосы охлаждающей жидкости
Снижение оборотов за счет 5- или 6-ступенчатой КПП или АКПП (также бесступенчатой АКПП)	<ul style="list-style-type: none"> • снижение трения в двигателе • потребление мощности вспомогательными агрегатами падает • достижение одинакового момента при меньших оборотах
Системы Start-Stop, система прямого пуска	<ul style="list-style-type: none"> • прерывание подачи топлива при выключенном двигателе • прямой запуск путем поджигания смеси в камере сгорания и щадящее использование механической и электрической систем запуска
Различные системы катализаторов	<ul style="list-style-type: none"> • каталитическое дожигание и преобразование вредных веществ в неядовитые компоненты
Новые методы организации процесса сгорания, такие как контролируемое самовоспламенение (CAI); (HCCI)	<ul style="list-style-type: none"> • однородное поджигание смеси в диапазоне частичной нагрузки горячими ОГ или горячим воздухом в камере сгорания • однородное самовоспламенение смеси

5. ПРОЦЕСС СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И ВЫБРОСЫ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Дизельные двигатели в настоящее время, бесспорно, являются самыми эффективными двигателями внутреннего сгорания. В Западной Европе рыночная доля новых автомобилей с дизельными двигателями порой превышает 50 %. Такие двигатели сочетают низкий расход топлива и небольшие выбросы углекислого газа с очень высоким крутящим моментом. Удельная мощность дизельных двигателей находится на уровне бензиновых. Недостатками являются выбросы частиц и окислов азота. За послед-

ние годы был достигнут огромный прогресс в плане плавности работы и уменьшения выбросов дизельных двигателей. Автомобиль с современным дизельным двигателем расходует примерно на треть меньше топлива, чем сопоставимый по мощности и другим параметрам автомобиль с бензиновым двигателем. Насколько хороши современные дизельные двигатели, показало испытание, проведенное Национальным институтом онкологии в Милане (Италия). Было установлено, что при выкуривании трех сигарет выбрасывается в 10 раз больше частиц, чем при работе современного дизельного двигателя на холостом ходу в течение 30 минут.

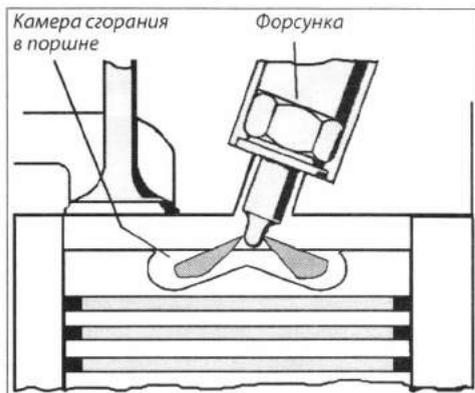


Рис. 5.1. Непосредственный впрыск в дизеле

5.1. Сгорание дизельного топлива

Процесс сгорания дизельного топлива бывает двух типов — непосредственный впрыск и впрыск в разделенные камеры сгорания. Использувавшиеся ранее про-

цессы с разделенными камерами, такие как форкамерное и вихрекамерное смесеобразование, имели существенные недостатки, поэтому больше практически не используются, и мы не будем подробно останавливаться на них. Перспективные разработки в области организации сгорания дизельного топлива лежат в области использования однородной смеси. В современных двигателях используются системы непосредственного впрыска топлива с организацией кругового воздушного потока и углублением в днище поршня (рис. 5.1). Относительно высокий уровень шума, вызываемый жестким сгоранием топлива с быстрым ростом давления, удалось снизить посредством организации предварительного впрыска топлива (в том числе многократного) и различных второстепенных мер, таких, как полное капсулирование двигателя и уменьшение степени сжатия.

Различия между дизельными двигателями легковых и грузовых автомобилей состоят главным образом в геометрии камеры сгорания и использовании распылителей форсунок с одним или несколькими отверстиями. У двигателей легковых автомобилей с непосредственным впрыском камера сгорания имеет форму сердца, а топливо впрыскивается через форсунки с несколькими отверстиями (4, 5, 6 или 8). Такая технология требует мощного кругового воздушного потока вокруг оси цилиндра, чтобы обеспечить хорошее смешивание воздуха с топливом в камере сгорания. Этот круговой воздушный поток называют также **спином**. Преимущества непосредственного впрыска перед использованием разделенных камер сгорания:

- снижение расхода топлива на 15–20%;
- отсутствие потерь при переходе смеси из форкамеры или вихревой камеры в камеру сгорания;

- более низкие тепловые потери за счет меньшей площади поверхности в дне поршня;
 - более высокий тепловой КПД;
 - удельный расход топлива 160–200 г/кВт·ч.
- Проблемы непосредственного впрыска топлива:

- создание вихревого потока частично мешает очистке от продуктов сгорания в цилиндре;
- затруднено изготовление конструктивно сложных впускных каналов особой формы;
- аэродинамически разные формы каналов при многоклапанной конструкции;
- проблемы с холодным пуском из-за вихревого движения воздуха;
- охлаждение камеры сгорания отчасти затруднено (требуется охлаждение днища поршня разбрызгиванием масла).

Однако преимущества этой технологии существенно перевешивают ее недостатки. Большие конструктивные сложности при изготовлении систем впуска быстро окупаются. При непосредственном впрыске особое значение имеют положение и количество впрыскиваемых струй в камере сгорания. Они влияют на:

- совокупность условий образования смеси;
- процесс подготовки и сжигания смеси;
- шум при сгорании (скорость нарастания давления);
- КПД двигателя;
- мощность, крутящий момент и характеристики крутящего момента двигателя;
- достигаемый диапазон частот вращения коленчатого вала двигателя;
- условия образования сажи и выбросов частиц;
- условия образования всех остальных вредных выбросов;
- использование воздуха для сжигания топлива;
- расход топлива.

5.2. Впускной винтовой канал и ротация воздуха

Основным условием для качественного образования смеси у дизельных двигателей с непосредственным впрыском топлива является по возможности большая турбулентность всасываемого воздуха в камере сгорания. У современных двигателей мощная ротация воздуха достигается посредством **вихревых каналов** или **тангенциальных каналов**. Всасываемый воздух, проходя через всасывающий трубопровод особой формы, подвергается сильному завихрению. В результате воздух с высокой скоростью и с сильным вращением вокруг оси цилиндра устремляется в камеру сгорания. При сжатии за счет завихрения под давлением (уменьшения внутреннего диаметра цилиндра до диаметра камеры сгорания) происходит еще одно повышение скорости вращения и турбулентности воздуха.

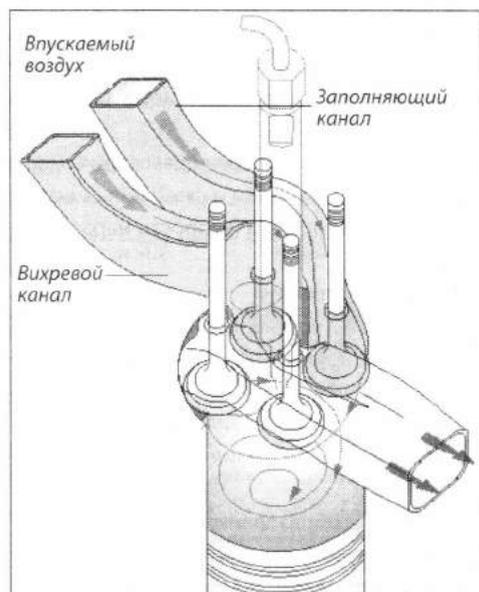


Рис. 5.2. Вихревой и заполняющий впускные каналы

Проблема у этой системы впуска состоит в том, чтобы при высоких оборотах и нагрузках достичь достаточного расхода воздуха (заполнения) с как можно меньшими аэродинамическими потерями, а на низких оборотах гарантировать достаточную скорость вращения воздуха. Многоклапанная схема и турбонаддув (особенно с изменяемой геометрией) обеспечивают неплохой компромисс.

Некоторые автопроизводители работают также с двумя различными впускными каналами (рис. 5.2). Один канал выполняется в виде вихревого, а другой — в виде заполняющего. Заполняющий канал особенно необходим для верхнего диапазона нагрузок, чтобы обеспечить достаточную подачу воздуха. С появлением систем управления клапанами в дизельных двигателях следует ожидать дальнейшей оптимизации подачи воздуха.

Чтобы оптимизировать условия заполнения воздухом и завихрения воздушного потока, наряду с делением впускных каналов проводятся эксперименты по отключению каналов. Преимуществами отключения впускных каналов являются хорошая подготовка смеси во всем диапазоне оборотов и дальнейшее снижение выбросов вредных веществ.

5.3. Процесс сгорания в дизельном двигателе

Образование смеси и процесс ее сгорания в дизельном двигателе значительно отличаются от условий в бензиновом двигателе постоянным давлением и очень поздним смешением топлива с воздухом. Основная проблема — за очень короткий промежуток времени распределить холодное жидкое топливо в горячем воздухе и смешать их таким образом, чтобы получить относительно «тихое» сгорание с небольшими выбросами

вредных веществ. Основные требования — предотвращение образования сажи и детонационного сгорания. Сажа образуется во время сгорания при трех основных условиях:

- 1) впрыск холодного, жидкого и неподготовленного топлива во фронт горения;
- 2) недостаток кислорода и локальные неблагоприятные условия образования смеси;
- 3) внезапное падение давления или температуры в камере сгорания и преждевременное прекращение сгорания.

Особенно важную роль при образовании сажи играют условия 1 и 2.

Весь процесс сгорания, а также выбросы вредных веществ и уровень шума определяются процессами во время запаздывания воспламенения. У современных дизельных

двигателей инженеры пытаются оптимизировать процессы, происходящие во время запаздывания воспламенения во всех диапазонах нагрузки и оборотов.

Запаздывание воспламенения — это время или угол поворота коленчатого вала от начала впрыска до начала роста давления сверх давления сжатия.

Реальный интервал запаздывания воспламенения находится в пределах от $1/_{1000}$ до $2/_{1000}$ секунды и может регулироваться лишь в небольших пределах.

5.3.1. Факторы, влияющие на запаздывание воспламенения

Интервал запаздывания воспламенения и процессы во время запаздывания воспламенения

Таблица 5.1. Факторы, влияющие на запаздывание воспламенения

Вливаемая величина	Влияние на	Требование
Степень сжатия ϵ	<ul style="list-style-type: none"> • разность температур между воздухом и топливом • давление воздуха и, соответственно, коэффициент теплопередачи • концентрация кислорода в камере сгорания 	По возможности большая
Начальное давление сжатия	<ul style="list-style-type: none"> • суммарное давление в двигателе и, соответственно на коэффициент теплоотдачи • концентрацию кислорода в камере сгорания 	Большое
Начальная температура сжатия	разность температур между воздухом и топливом	Большая
Обороты двигателя	время на передачу тепла от воздуха топливу	Небольшие
Нагрузка на двигатель	<ul style="list-style-type: none"> • уровень температуры и давления в цилиндре • коэффициент теплоотдачи 	Большая
Движение воздуха в камере сгорания	<ul style="list-style-type: none"> • передачу тепла от воздуха топливу • разность скоростей между воздухом и топливом 	Большое – очень большое
Качество распыления	<ul style="list-style-type: none"> • размер капель топлива • отношение площади поверхности капель топлива к их объему 	Большое – очень большое
Плотность топлива	площадь поверхности капли топлива при постоянной массе	Небольшая
Удельная теплота топлива	необходимое количество теплоты для нагрева топлива и время на задержку зажигания	Небольшая
Воспламеняемость топлива	процессы распада углеводородных цепочек	Цетановое число > 55

определяются большим количеством порой противоположных факторов. Эту противоположность можно преодолеть лишь путем целенаправленного влияния на отдельные факторы и с помощью электронной регулировки. В таблице 5.1 приведены важнейшие факторы, влияющие на запаздывание воспламенения.

Еще одной важной величиной, влияющей на подготовку топлива, является распределение температуры в струях впрыскиваемого топлива. На рис. 5.3 показано распределение температуры во впрыскиваемой струе при соприкосновении ее с горячим воздухом в камере сгорания.

Находящиеся на периферии струи легкие компоненты топлива при соприкосновении с воздухом измельчаются до еще более мелких капель топлива. Те компоненты топлива, которые первыми соприкасаются с горячим воздухом, закипают и испаряются. В компактной сердцевине струи топливо относительно долго остается холодным, жидким и неподготовленным.

5.3.2. Образование смеси и сгорание в дизельном двигателе

На рис. 5.4 в упрощенной форме показано протекание впрыска топлива, подготовки то-

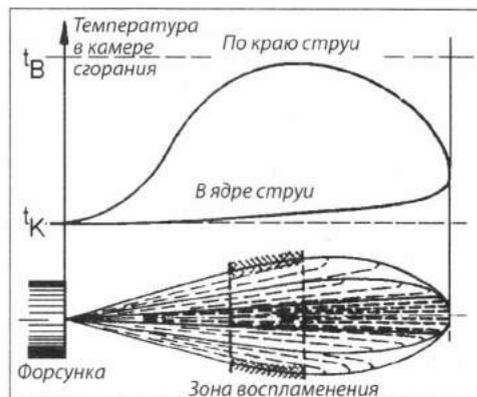


Рис. 5.3. Распределение температуры

плива и его сгорания в дизельном двигателе. Процессы изображены в пределах поворота коленчатого вала (коленвала) на угол 5° . В процессе впрыска на каждые 5° поворота коленвала впрыскивается точно определенное количество топлива с определенным содержанием энергии. Сначала часть топлива 1 соприкасается с горячим воздухом и начинается ее подготовка. Подготовка части 2 начинается на 5° поворота коленвала позже. Подготовка части 3 топлива вообще может начаться лишь через 10° поворота коленвала после начала впрыска. Этот процесс продолжается до части 5. Подготовка этой части топлива к сгоранию может начаться лишь через 20° поворота коленвала после начала впрыска.

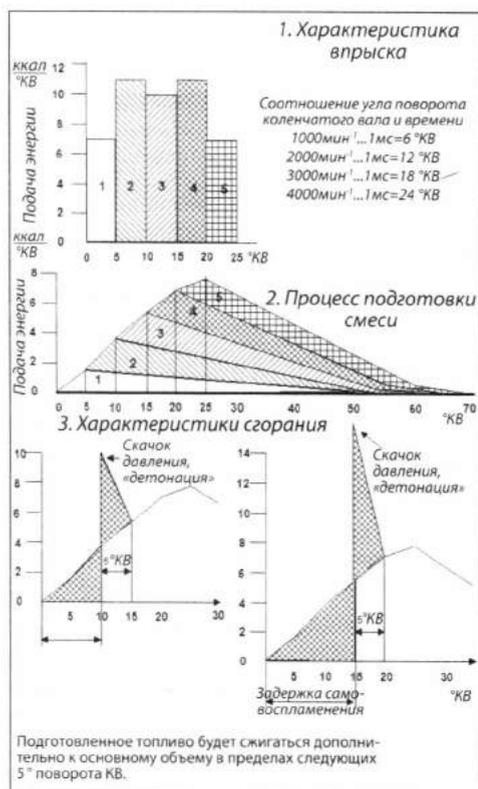


Рис. 5.4. Протекание впрыска, подготовки и сгорания (упрощенное представление)

К этому моменту к сгоранию подготовлены уже большие количества впрыснутого топлива части 1. Если теперь поставить условие, что сгорание должно произойти через 10° поворота коленвала после начала впрыска, и резко вырастут давление и температура, то в течение этого времени будет подготовлено уже относительно большое количество топлива частей 1 и 2. Тогда это подготовленное топливо будет, к примеру, сжигаться дополнительно к основному в пределах следующих 5° поворота коленвала. Сгорание этого дополнительного топлива становится заметным по ощутимым скачкам давления. На слух они воспринимаются как детонация. Если сгорание произойдет лишь через 15° поворота коленвала после начала впрыска, то будет подготовлено еще большее количество топлива. Он также будет сгорать дополнительно к основному в пределах следующих 5° поворота коленвала. Скачки давления станут еще больше.

Из-за них значительно усиливается шум двигателя и нагрузки по давлению. Их особенно заметно при холодном запуске дизельного двигателя. Начало впрыска переносится на более ранний момент, чтобы дать топливу достаточно времени на подготовку, и одновременно впрыскивается добавочное количество при запуске. Тогда к началу сгорания будет подготовлено большое количество дополнительно сжигаемого топлива.

Описанные скачки давления также приводят к росту температуры в камере сгорания. Увеличивается выброс NO_x .

Проблема у всех дизельных двигателей состоит в том, чтобы смешивание горячего воздуха с холодным топливом происходит лишь в камере сгорания. Для смешивания имеется очень мало времени. В результате в камере сгорания не получается полностью однородного распределения смеси. Хотя дизельный двигатель работает с заметным избытком воздуха, в камере сгора-

ния может иметь место локальная нехватка воздуха. Она может стать причиной образования сажи.

Если холодному топливу не дать достаточно времени на смешивание с воздухом, то произойдет реакция не окисления, а крекинга. В результате крекинга рвутся углеводородные цепочки в топливе и отщепляются атомы углерода. Образуется сажа. Чистый углерод (сажа) очень инертен. Однако в процессе сжигания для сгорания этих частиц сажи не остается достаточно времени. Это причина образования сажи и, как следствие, выбросов частиц у дизельных двигателей.

Длительность прогорания смеси становится тем меньше, чем больше имеется времени на подготовку и топлива и смешивание его с воздухом. Хорошо подготовленное и смешанное с достаточным количеством воздуха топливо сгорает быстро, чисто и почти полностью.

Выводы по сгоранию дизельного топлива

Для сгорания с небольшим образованием сажи следует выбирать как можно более длительное запаздывание воспламенения (время на подготовку топлива). Если же во время длительного запаздывания воспламенения будет подготавливаться слишком большое количество топлива, то оно будет за очень короткое время дополнительно сгорать со скачками давления. Это, как описано в разделе 5.3.2., проявляется в скачках температуры и давления (детонация) и приводит к повышенным выбросам NO_x .

Используемые в дизельных двигателях технические и конструктивные решения (высокое давление впрыска, завихрение воздушного потока, короткое время впрыска, управляющий впрыск, четырехклапанная техника, турбонаддув, магистраль Common Rail, впрыск с насос-форсунками и пр.) по сути нацелены на решение этого конфликта целей.

Резюме

Слишком короткое запаздывание воспламенения приводит к повышенному выбросу сажи, но более мягкому и тихому сгоранию.

Слишком длинное запаздывание воспламенения дает сгорание с меньшим выбросом сажи, но более шумное, с повышенными выбросами NO_x и более высокой нагрузкой на детали.

5.3.3. Управление впрыском в современных дизельных двигателях

Описанные выше конфликты целей не удалось разрешить с помощью традиционных распределительных насосов высокого давления. Использование современных систем впрыска в дизельных двигателях, таких как магистраль Common Rail (CRS) и блок насос-форсунок (PDE) открывает совершенно новые возможности для регулирования и моделирования процесса впрыска и сгорания. За последние годы особо больших успехов достигла немецкая автопромышленность и ее поставщики. Наряду с давлением впрыска более 2000 бар важным качественным скачком стало почти произвольное моделирование процесса впрыска. Здесь фантазиям инженеров-механиков нет предела. Сложная электроника позволяет использо-

вать системы OBD и для дизельных двигателей. На рис. 5.5 показано несколько принципиальных вариантов впрыска. Особенно использование пьезотехники обеспечивает разнообразные вариации предварительного и последующего впрыска. Точный выбор количества впрыскиваемого топлива и момента впрыска уже можно назвать искусством регулировки. Так, очень ранний предварительный впрыск положительно влияет на шумность работы, но отрицательно сказывается на выбросах частиц. При слишком позднем последующем впрыске топливо уже не сгорает полностью, из-за чего оседает на поверхности цилиндра и происходит усиленное разбавление масла; как следствие, сокращается интервал замены масла.

Вариант 1

Предварительный впрыск используется во всех системах CRS. Объем предварительно впрыскиваемого топлива составляет 1,0–1,5 мм³. Благодаря предварительному впрыску достигаются более короткое запаздывание зажигания и более низкая скорость роста давления. Топливо лучше подготавливается, а процесс сгорания становится чище и тише. Из-за технических ограничений предварительный впрыск выключается в диапазоне 3000–3500 мин⁻¹.



Рис. 5.5. Варианты предварительного впрыска

Вариант 2

Предварительный впрыск осуществляется непосредственно перед основным. Исследования показали, что при этом варианте выбросы вредных веществ наименьшие. Из-за короткого интервала между предварительным и основным впрыском этот вид предварительного впрыска используется только у форсунок второго поколения.

Вариант 3

Двойной предварительный впрыск может при определенных условиях стать альтернативой простому предварительному впрыску. Этот вариант тоже может реализован только с форсунками второго поколения. Необходимый объем предварительного впрыска делится примерно пополам.

Вариант 4

Последующий впрыск в такте выпуска приводит к росту температуры ОГ. Топливо испаряется в камере сгорания и сгорает лишь в катализаторе окисления или сажевом фильтре, из-за чего повышается температура. В результате частички сажи могут сгореть, и выброс сажи может снизиться на 40%. В сочетании с более высокой скоростью рециркуляции ОГ (до 60%) снижаются и выбросы оксидов азота. Увеличение расхода почти

не заметно. Этот тип последующего впрыска особенно необходим для восстановления при использовании сажевых фильтров.

У некоторых нейтрализаторов оксидов азота последующий впрыск можно использовать и для другой цели. Впрыскиваемое в отработавшие газы топливо испаряется и с возникающими углеводородными компонентами служит восстановителем для оксидов азота в специально предусмотренных для этого восстановительных катализаторах. Часть испарившегося топлива через рециркуляцию ОГ снова подается на впуск и действует как при очень раннем предварительном впрыске.

В обоих случаях необходимо предотвратить разжижение моторного масла.

Вариант 5

Этот вариант демонстрирует потенциал современных пьезофорсунок. Возможности моделирования впрыска почти безграничны. Возможны самые различные комбинации предварительного и последующего впрыска в пределах рабочего диапазона двигателя. Это делает современные дизельные двигатели еще более тихими и экологичными. Предварительный впрыск зависит от нагрузки, оборотов и включенной передачи. Характеристики различных типов впрыска показаны на рис. 5.6.

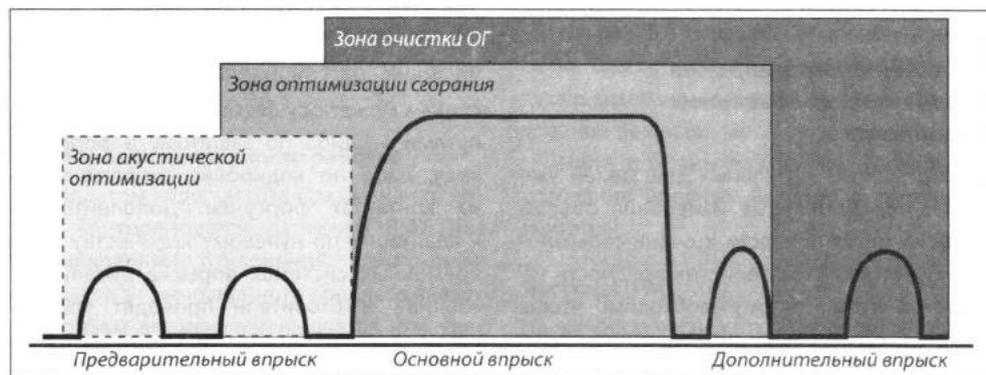


Рис. 5.6. Эффективный диапазон предварительного впрыска у системы CRS

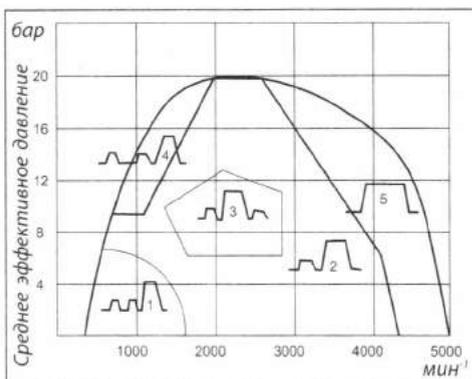


Рис. 5.7. Различные варианты впрыска дизельного двигателя

На рис. 5.7 изображены пять различных вариантов предварительного впрыска, обеспечиваемые электроникой управления двигателем в рабочем диапазоне. Каждый вариант оптимизирован для соответствующего диапазона нагрузок и оборотов. Дополнительно учитываются окружающие условия.

- ❑ Вариант 1 — для небольших нагрузок и оборотов.
- ❑ Вариант 2 — в диапазоне частичной нагрузки с растущими нагрузками и оборотами.
- ❑ Вариант 3 — в диапазоне нагрузок с оптимизированным расходом топлива.
- ❑ Вариант 4 — в диапазоне разгона.
- ❑ Вариант 5 — в диапазоне полной нагрузки с максимальным крутящим моментом.

5.3.4. Адаптация впрыска в современных дизельных двигателях

У современных дизельных двигателей уже самые незначительные изменения объема впрыска могут привести к очень серьезному ухудшению характеристик вредности ОГ и уровня шума. Поэтому необходимо, чтобы системы сами постоянно адаптировались к двигателю. Для этого используются различные адаптирующие приемы.

Адаптация по нулевому количеству

Под адаптацией по нулевому количеству понимают процесс адаптации, гарантирующий для каждой отдельной форсунки наличие точно заданного, очень небольшого количества предварительно впрыскиваемого топлива. Это необходимо для надежного соблюдения нормы Евро-5 в течение всего срока эксплуатации. Адаптация по нулевому количеству должна проводиться постоянно.

В режиме нагрузки в каждый цилиндр впрыскивается небольшое количество топлива; оно варьируется до тех пор, пока управляющая электроника не распознает заданный крутящий момент. Для вычисления крутящего момента используется неравномерность вращения коленвала, определяемая датчиком коленвала. Таким образом электроника определяет, при какой длительности активации начинает работать тот или иной цилиндр. Впрыснутое во время адаптации топливо используется в качестве корректирующего значения для характеристики предварительного впрыска. Адаптация по нулевому количеству происходит для каждого цилиндра отдельно, в фазе нагрузки у прогретого двигателя на оборотах 1500–2500 мин⁻¹.

Уравнивание количества топлива в форсунках

Уравнивание количества топлива по форсункам может осуществляться различными путями — либо по зашиту в форсунке коду, либо по кодировке сопротивления на контактах форсунки. Дополнительно к адаптации по нулевому количеству в современных системах впрыска дизельного топлива изготовители проводят уравнивание количества топлива, при котором каждой форсунке сопоставляется закодированное компенсирующее значение.

Компенсирющие значения назначаются соответственно месту установки форсунки и записываются в электронную память. Эти значения уменьшают специфичный для цилиндров разброс объемов впрыска. При замене форсунок нужно обязательно соблюдать инструкции изготовителя по уравниванию количества топлива. При кодировке сопротивления процесс уравнивания выполняется автоматически в момент подключения.

Адаптация по нулевому количеству с датчиком детонации

В системах фирмы Delphi адаптация по нулевому количеству происходит с помощью датчика детонации, размещаемого в середине блока цилиндров. Контроль шумов двигателя выполняется в двух диапазонах. В первом диапазоне фиксируется шум исследуемого цилиндра и сравнивается с шумами предварительного и последующего впрыска. После этого время предварительного впрыска сокращается до тех пор, пока не исчезнет шум сгорания. ЭБУ вычисляет минимальное время предварительного впрыска для соответствующей форсунки и записывает это значение в память. Таким образом, независимо от состояния износа обеспечивается равномерная работа двигателя. Дополнительно к этому используются сигналы датчика детонации для контроля механики двигателя и распознавания постоянно открытой (неисправной) форсунки.

Регулирование плавности работы

На холостом ходу частота вращения коленвала контролируется датчиком ВМТ. При возникновении отклонений какого-либо цилиндра от вычисленного среднего значения объем впрыска уменьшается или увеличивается. Датчик ВМТ калибруется в режиме нагрузки.

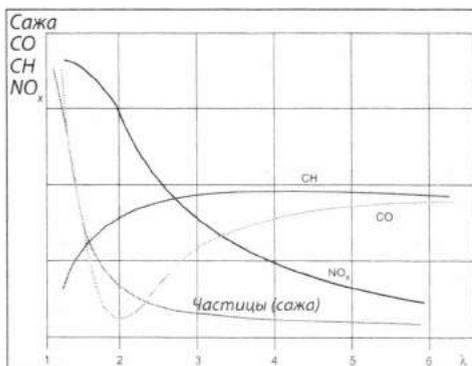


Рис. 5.8. Коэффициент избытка воздуха и выбросы вредных веществ у дизельного двигателя

5.4. Коэффициент избытка воздуха и выбросы вредных веществ в дизельных двигателях

Как уже было описано для бензиновых двигателей, все важные параметры дизельных двигателей также зависят от коэффициента избытка воздуха. Ниже описаны важнейшие условия образования вредных веществ. Поскольку дизельные двигатели в основном работают в диапазоне обедненных смесей, было решено отказаться от подробного описания теоретически возможных соотношений в диапазоне богатых смесей.

На рис. 5.8 показаны основные взаимосвязи между коэффициентом избытка воздуха в дизельном двигателе и образованием вредных веществ.

Ниже описаны важнейшие условия образования вредных веществ в дизельном двигателе.

Частицы (PM)

На выбросы частиц главным образом влияет наличие достаточной массы кислорода при образовании и сжигании смеси. Таким обра-

зом, в диапазоне очень бедных смесей выбросы резко падают, а в диапазоне, близком к полной нагрузке, при λ 1,1–1,5, отмечается заметное увеличение выбросов частиц.

Оксид углерода CO

Оксид углерода у дизельных двигателей не создает никаких проблем, так как он образуется в основном при нехватке кислорода. Но поскольку речь идет о сгорании в закрытой системе и на охлаждаемых стенках камеры сгорания окисление прерывается, либо сгорание происходит с опозданием или не происходит вообще, как оно не происходит в мертвых зонах, то и в диапазоне бедных смесей имеют место выбросы CO.

Углеводороды CH

Увеличение выбросов углеводородов в диапазоне очень бедных смесей связано с затягиванием сгорания в этом диапазоне. Минимальные выбросы углеводородов приходятся на диапазон значений λ 1,1–1,3. В этом диапазоне имеется достаточно кислорода для образования углекислого газа и воды. Увеличение в диапазоне очень бедных смесей происходит из-за очень медленного протекания реакций горения.

Оксиды азота NO_x

Максимальное образование NO_x, как и у бензиновых двигателей, приходится на значе-

ния λ 1,1–2,0. Чем беднее становится смесь, тем меньше становятся пиковые температуры в камере сгорания и тем инертнее оказывается азот во всасываемом воздухе. Поскольку дизельные двигатели принципиально работают всегда в диапазоне бедных смесей, они создают здесь больше проблем, чем бензиновые. Для образования оксидов азота также необходимы два условия:

- высокая температура сгорания для активации содержащегося в воздухе инертного азота;
- свободный кислород, который уже не может вступить в реакцию с углеродом и водородом.

5.5. Меры по снижению вредных выбросов и сажи

Основные проблемы выбросов вредных веществ у дизельных двигателей являются выбросы оксидов азота и частиц. Оба этих вредных компонента также стоят в центре внимания в плане дальнейшего снижения предельных значений у дизельных двигателей. На рис. 5.9 показана динамика предельных значений от Евро-3 до Евро-5. Эффективнее всего бороться с выбросами сажи путем предотвращения образования частиц сажи в ка-

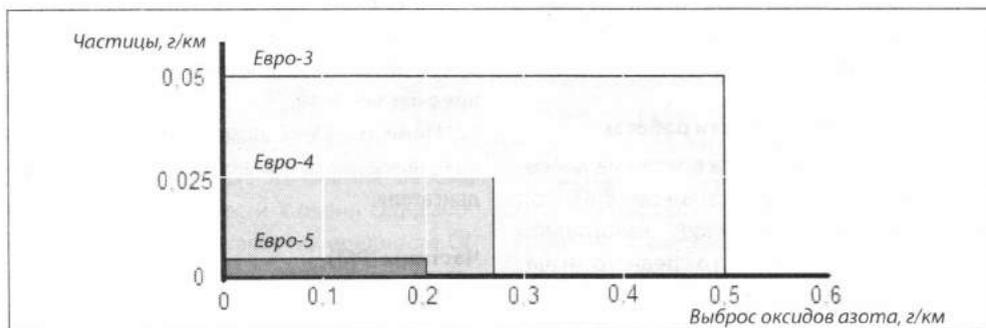


Рис. 5.9. Динамика предельных значений для дизельного топлива от Евро-3 до Евро-5.

мере сгорания. Это достигается оптимизацией процессов подготовки и организации сгорания смеси, т.е. внутри двигателя. Дальнейшее снижение выбросов можно получить с помощью установки сажевых фильтров и катализаторов. Потенциал развития дизельных двигателей — в комбинировании этих двух мер.

В таблице 5.2 показаны некоторые технические меры по уменьшению выбросов, которые внедрены в серийное производство или это ожидается в ближайшее время.

5.6. Перспективные разработки для двигателей внутреннего сгорания

5.6.1. Непосредственный пьезовпрыск (PDI)

Система непосредственного пьезовпрыска (Piezo Direct Injection, PDI) производства

Siemens VDO предназначена для струйных способов организации сгорания в бензиновых двигателях. В них топливо в любых режимах работы впрыскивается непосредственно перед свечой зажигания, что позволяет ощутимо расширить режим послыонного распределения топлива в заряде. Струйные способы организации сгорания предъявляют крайне высокие требования к давлению и динамике впрыска, подготовке струи и точности дозирования в форсунках. В прежде использовавшихся системах это было невозможно. По сравнению со впрыском во всасывающий трубопровод, непосредственным впрыском на стенку или в воздушный поток здесь следует ожидать снижения расхода на 20%. Как показано на рис. 5.10, возможно еще большее снижение расхода топлива у бензиновых двигателей путем использования одно- или двухступенчатого наддува.

Непосредственно воздействующий на иглу форсунки пьезоэлемент из 180–200 слоев кристаллов придает форсунке высокую

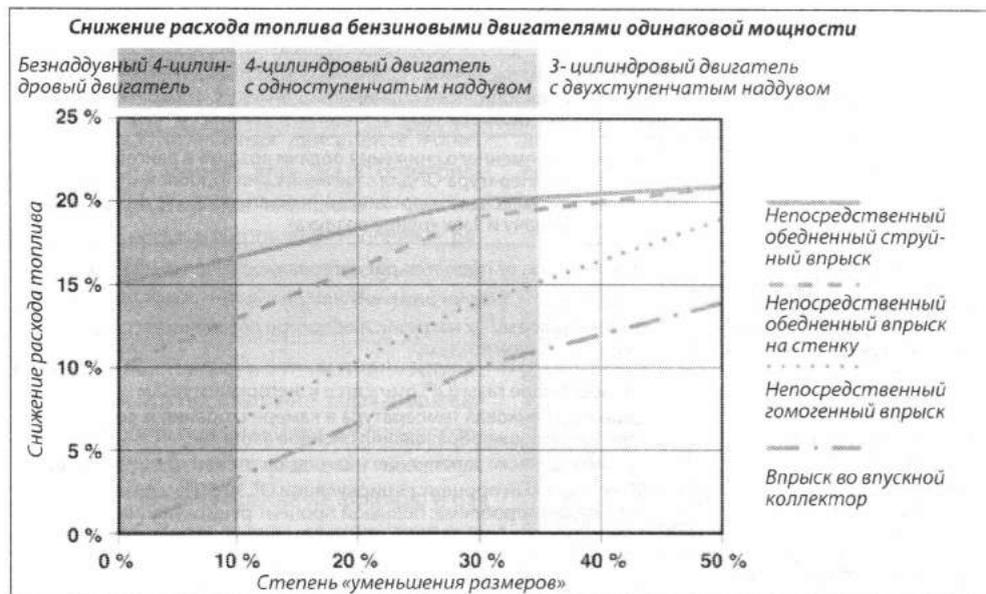


Рис. 5.10. Снижение расхода топлива за счет непосредственного впрыска [источник: Bosch]

Таблица 5.2. Меры по уменьшению вредных выбросов у дизельных двигателей

Возможность уменьшения вредных выбросов	Эффект/ результат/ примечание
Давление впрыска 1500-2250 бар	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимое количество топлива для данной рабочей точки очень быстро попадает в камеру сгорания • Очень высокое качество распыления топлива • Очень маленькие капли топлива быстрее нагреваются и благодаря этому быстрее испаряются
Использование многоканальных сопел или вариосопел	<ul style="list-style-type: none"> • Очень мелкое распыление отдельных струй топлива • Точное разделение топлива в камере сгорания чем больше отверстий для впрыска, тем лучше распыление • Органичения устанавливает технология изготовления
Регулируемый начальный впрыск	<ul style="list-style-type: none"> • Предотвращение сильного роста давления в камере сгорания • Для восстановления сажевых фильтров или катализаторов SCR
Создание сильной турбулентности воздуха в винтовых каналах	<ul style="list-style-type: none"> • Создание сильного вращения воздуха вокруг оси цилиндра благодаря геометрической форме впускного канала • Целенаправленное создание завихрения в камере сгорания для усиления вращения воздуха • Интенсивное и быстрое перемешивание воздуха и топлива
Покрытие из благородных металлов у используемого фильтра	<ul style="list-style-type: none"> • Нанесение на поверхность фильтра благородных металлов, таких как платина, для снижения температуры реагирования частиц • Впрыск специальных добавок для дальнейшего снижения температуры сгорания частиц
Использование в топливе специальных добавок или химических средств зажигания	<ul style="list-style-type: none"> • Улучшение воспламеняемости дизельного топлива путем повышения цетанового числа • Использование кислородсодержащих добавок в топливе • Использование CeO_2 (диоксида церия) или Fe_2O_3 (оксида железа) для снижения температуры реагирования частиц
Электронное управление характеристикой впрыска	Отрегулировать расход впрыска и момент впрыска так, чтобы температура ОГ эпизодически поднималась до 650°C (проблема: также увеличиваются выбросы NO_x)
Дроссельная заслонка во всасывающем трубопроводе	Из-за кратковременного снижения подачи воздуха в двигатель увеличивается температура ОГ для сжигания сажи (проблема: увеличение аэродинамического сопротивления во впускном трубопроводе затрудняет подачу и завихрение воздуха)
Регулируемая геометрия турбины (VTG), регулируемая геометрия компрессора, ступенчатый наддув, регистровый наддув	<ul style="list-style-type: none"> • Независимое от оборотов регулирование давления наддува • Поддержание завихрения в нижнем диапазоне оборотов • Во всех диапазонах нагрузок и оборотов обеспечивается достаточный избыток воздуха
Рециркуляция ОГ (внутренняя, внешняя, с охлаждением) Высокое или низкое давление рециркуляции ОГ	<ul style="list-style-type: none"> • Отработавшие газы (ОГ) относятся к негорючим газам • Снижается пиковая температура в камере сгорания и, соответственно, условие образования оксидов азота • Снижается также заполнение цилиндров свежей порцией смеси • Максимальный процент рециркуляции ОГ 30-50% у дизельных двигателей, (проблема: большой процент рециркуляции ОГ способствует образованию сажи)
Различные системы катализаторов для восстановления оксидов азота	<ul style="list-style-type: none"> • Каталитическое дожигание и преобразование вредных веществ • Накопительные катализаторы или SCR-катализаторы

Возможность уменьшения вредных выбросов	Эффект/ результат/ примечание
Однородное или полуюдно-родное сгорание дизтоплива	Однородное самовоспламенение смеси при лямбда 1 или в районе лямбда 1
Использование новых видов синтетического или полусинтетического топлива	<ul style="list-style-type: none"> • Сниженная доля ароматиков и нулевое содержание серы в топливе • Нет сжигания ископаемых энергоносителей (дизельное топливо) • Адаптирование параметров топлива к потребностям двигателя

динамику. Полный подъем иглы достигается уже через 0,2 миллисекунды. При этом отклонение отдельных впрыскиваемых объемов даже при коротких импульсах впрыска послышного заряда не превышает двух процентов. Для развития решающее значение имеет то, что сочетание быстрой коммутируемости и точности форсунки означает существенно лучший контроль впрыска топлива и сгорания. Так, с помощью пьезофорсунок в режиме нагрузки можно реализовать очень поздний момент зажигания без пропусков.

Пьезофорсунки, как показано на рис. 5.11, позволяют выполнять точные по времени и дозировке многократные впрыски в нижнем и среднем диапазонах нагрузки, обеспечивая стабильное сгорание с небольшими циклическими колебаниями. При необходимости электроника управления двигателем может адаптировать момент впрыска к потребностям метода сгорания или даже к очистке ОГ. Для качества дозирования топлива в режиме послышного заряда преимуществом является то, что с помощью пьезоэлемента форсунка может открываться и закрываться не только полностью, но и частично. Другие функции — это произвольно задаваемая высота и скорость подъема иглы, а также управление многократным впрыском с максимум тремя импульсами впрыска на цилиндр и рабочий цикл. Посредством соответствующих датчиков система управления PDI позволяет также индивидуально регулировать подъем иглы для каждого цилиндра.

Для чистого сгорания важно распылять топливо как можно мельче. При давлении впрыска около 200 бар средний диаметр капель топлива составляет всего 0,015 мм. Необычно высокое для бензинового двигателя давление впрыска в 200 бар обеспечивают осевые поршневые насосы с очень эффективной регулировкой количества смеси. Насосы подают лишь столько топлива, сколько на самом деле нужно двигателю. В стадии разработки — системы с давлением впрыска более 300 бар. Так что в перспективе у бензиновых двигателей будет такое давление впрыска, которое несколько лет назад было обычным для распределительных насосов дизельных двигателей.

Пьезоэффект

Принцип пьезоэффекта („пьеzo“ в переводе с древнегреческого означает „давить“) показан на рис. 5.13 Пьезоэлементы — это коммутирующие элементы, использующие открытый в конце 19-го века инверсивный

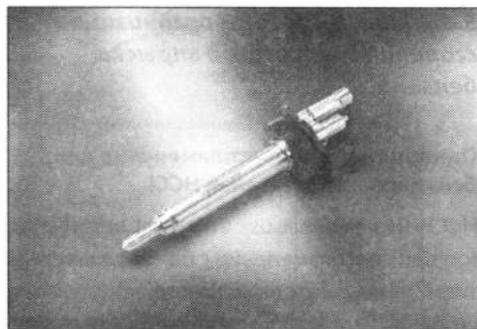


Рис. 5.11. Пьезофорсунка

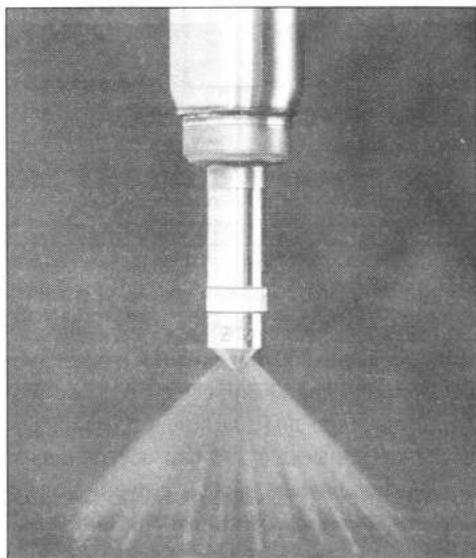


Рис. 5.12. Распыл топлива пьезофорсункой (источник VDO)

пьезоэффект. Если на пьезоэлемент (кварцевый или кристаллический) подать напряжение, то в течение тысячных долей секунды изменяется атомарная структура. Из-за сдвига электрически заряженных ионов расширяется кристаллическая решетка. В зависимости от полярности можно достичь расширения или сжатия. Поперечное сечение кристалла определяет подъемную силу, а высота подъема определяется напряжением и количеством кристаллов.

5.6.2. Новые способы организации сгорания для прямого впрыска бензина

Однородное самовоспламенение для бензиновых двигателей HCCI

HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition), воспламенение с однородным сжатием заряда — новый метод организации сгорания смеси, эффективный в диапазоне частичной нагрузки. Сгорание происходит

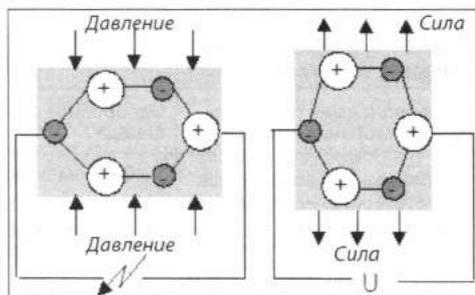


Рис. 5.13. Пьезоэффект

одновременно во всей камере сгорания, что предотвращает температурные пики, способствующие образованию NO_x . Благодаря однородному самовоспламенению можно обойтись без сложной очистки выхлопа от сгорания бедных смесей, SCR-катализатор не требуется. Эта технология предполагает крайне точное дозирование остаточного газа в цилиндр. При этом полностью регулируемые приводы клапанов могут благоприятно влиять на дозирование.

Технология CAI (Controlled Auto Ignition)

Контролируемое сгорание с самовоспламенением (CAI) у бензиновых двигателей с непосредственным впрыском из-за горячих ОГ или горячего сжатого воздуха возможно в определенном диапазоне нагрузок и оборотов (рис. 5.14). Смесь в этом случае воспламеняется не свечой, а находящимися в камере сгорания горячими отработавшими газами или воздухом, причем одновременно по всей поверхности. Поскольку при этой технологии не возникает температурных пиков, выбросы NO_x по сравнению с традиционными двигателями несколько снижаются. Ощутимо снижаются и выбросы углеводородов и расход топлива. Эта технология объединяет преимущества бензиновых двигателей (невысокая токсичность ОГ) с преимуществами дизельных двигателей (малый расход топлива) и подходит для всех

предлагаемых во всем мире и перспективных видов и сортов топлива.

Контролируемое сгорание с самовоспламенением пока может использоваться только в нижнем и среднем диапазонах оборотов и ограничено детонационным пределом. В настоящее время различные изготовители работают над этими новыми технологиями. На стадии разработки находится еще одна технология организации сгорания — CSI (**C**ompression **S**park **I**gnition). Она была специально разработана компанией AVL для небольших ДВС.

Концерн Volkswagen работает над технологией CCS (**C**ombined **C**ombustion **S**ystem), где также используется самовоспламенение у бензиновых двигателей. Здесь используется стратегия раннего впрыска в сочетании с очень интенсивной рециркуляцией ОГ. Эту технологию можно использовать и для однородного сгорания в дизельном двигателе. Путем различных мер зажигания задерживается либо впрыск ускоряется настолько, чтобы топливо достаточно хорошо распределилось в камере сгорания и больше не сгорало во фронте пламени. Зажигание в этом случае происходит одновременно во множестве локальных точек при оптимальных локальных температурах и коэффициентах избытка воздуха. Эта технология предполагает специальную подстройку рециркуляции ОГ, момента и характеристики впрыска. В сочетании с новыми видами топлива (например SynFuel) уже были достигнуты выдающиеся результаты. Удельные выбросы вредных веществ находятся на близком к пределу обнаружения уровне. Возможным представляется сгорание с почти нулевой токсичностью. Однако эти системы будут готовы к применению только после 2015 года.

В ближайшие годы будут проводиться революционные разработки технологий впры-

ска и организации сгорания у бензиновых двигателей с непосредственным впрыском и у дизельных двигателей. Выбор в пользу бензиновых или дизельных двигателей пока еще не сделан. С помощью новых технологий может получиться соединить небольшие выбросы вредных веществ бензиновых двигателей с небольшим расходом топлива дизельных двигателей.

5.6.3. Перспективные системы впрыска для дизельных двигателей

Системы Common Rail 3 и 4 поколения с пьезоэлементами

Благодаря масштабным инновациям с начала 90-х годов выбросы частиц у автомобилей с дизельными двигателями были снижены на 80%, а другие выбросы — на 90%. Для выполнения нормы Евро-5 выбросы частиц должны были снизиться не менее чем на 90%, а выбросы CO, NO_x и углеводородов — не менее чем на 95%. В перспективе законодательство в области контроля токсичности ОГ станет еще более жестким. Важнейший фактор для достижения этих целей — как можно более высокое давление впрыска. На рис. 5.15 показано сравнение и тенденция динамики давлений впрыска у различных систем.



Рис. 5.14. Технология сгорания CAI

В пьезосистемах Common Rail 3-го поколения форсунка и пьезоэлемент стали еще меньше, чем в системах предыдущих поколений. При этом уменьшенный пьезоэлемент встраивается непосредственно в стержень клапана. Форсунки новой конструкции рассчитаны на давление впрыска 1800–2000 бар и еще эффективнее используют преимущества многократного впрыска.

В системах 4-го поколения, которые используются компанией Bosch, с помощью гидропреобразователей может достигаться усиление давления порядка 1:2 прямо в форсунке. Дизельная форсунка с гидроусилением (HADI, **H**ydraulically **A**mplified **D**iesel **I**njector) работает с передаточным поршнем, увеличивающим давление в системе с 1350 бар до давления впрыска 2500 бар.

Преимущество этой технологии в том, что высокое давление создается не во всей системе, а лишь в форсунке. Форсунки могут работать как традиционные либо как регулируемые.

Две иглы открывают два расположенных друг над другом ряда отверстий, через которые впрыскивается различное количество топлива. Отдельные иглы открываются и закрываются быстрее, из-за чего топливо при меньшем дросселирующем эффекте впрыскивается под большим давлением и с существенно лучшим распылением. Форсунки могут производить до шести впрысков, а количество впрыскиваемого в цилиндр топлива может быть меньше одного миллиграмма. В результате значительно уменьшается и возвращаемый объем топлива, и ТНВД требуется подавать его меньше, расходуя соответственно меньше энергии на привод.

Особенностью этой системы является гидравлический элемент системы компенсации зазоров между пьезоэлементом и форсункой, выравнивающий минимальные допуски изготовления и температурные расширения. Датчик детонации контролирует процесс сгорания, а ЭБУ двигателя регулирует характеристику впрыска.

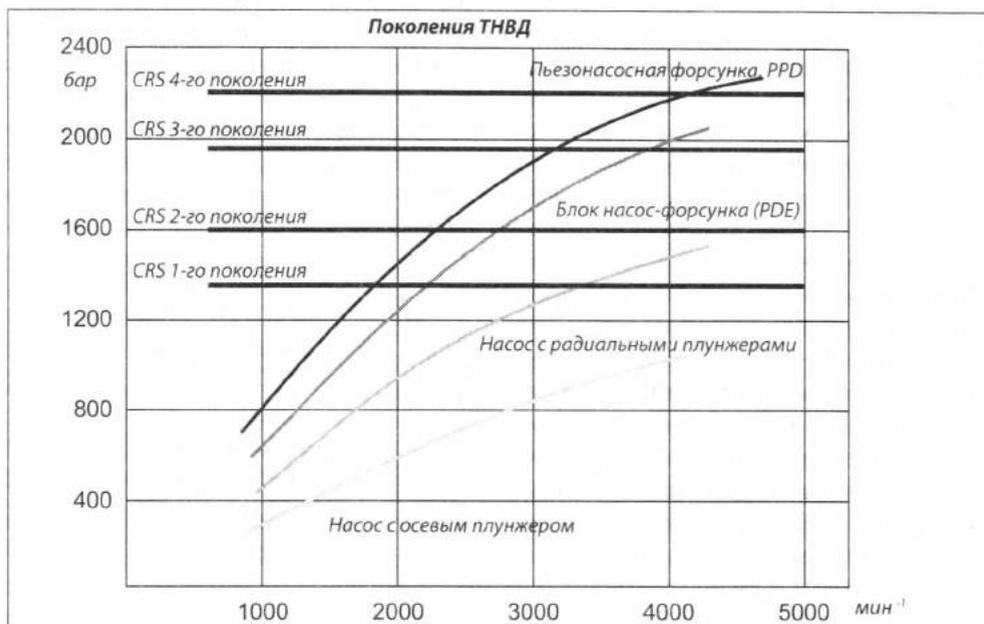


Рис. 5.15. Сравнение давления впрыска

Пьезонасосная форсунка (PPD)

Концерн VW впервые применил пьезоэлемент с насос-форсунками. Эта система реагирует примерно в 4 раза быстрее, чем электромагнитные исполнительные механизмы. Это позволяет достичь давления впрыска до 2200 бар. Форсунка с шестью отверстиями позволяет очень мелко распылять топливо. Порцию впрыска можно поделить максимум на семь частей. Топливо накапливается в маленьком ресивере и впрыскивается очень быстро включающимся пьезоклапаном. На рис. 5.16 показан принцип работы новой системы.

В настоящее время компания Bosch разрабатывает коаксиальную регулируемую форсунку для систем с насос-форсунками. Регулируемая форсунка отличается от традиционной количеством, расположением, диаметром и формой отверстий для впрыска. Электромагнитный клапан управляет двумя коаксиальными иглами и открывает два ряда отверстий. Первый ряд отверстий с небольшой пропускной способностью подготавливает в начале сгорания небольшие количества топлива, обеспечивая таким образом мягкое сгорание и низкий уровень шума. Кроме того, в диапазоне частичной нагрузки он обеспечивает бо-

лее оптимальное образование смеси с заметно пониженными выбросами вредных веществ.

Однородное самовоспламенение для дизельных двигателей HCCI

Работа над технологией HCCI ведется как для бензиновых, так и для дизельных двигателей. Здесь топливо впрыскивается очень рано, и остается достаточно времени на образование однородно бедной смеси в камере сгорания. Одновременно с образованием смеси она при сжатии нагревается и затем при включении зажигания может одновременно сгореть во всех местах камеры сгорания. При этом за короткое время сгорания выделяется большое количество тепла, что предотвращает образование сажи и оксидов азота. Преимуществом здесь будет использование топлива с более высокой точкой кипения и очень точно спланированный впрыск. Для этого предлагается использовать пьезофорсунки. С увеличением распространения синтетического топлива улучшаются условия для однородного сгорания топлива. Возможно, тогда удастся отказаться от использования сажевых фильтров и накопительных катализаторов для соблюдения норм токсичности ОГ.



Рис. 5.16. PDE 3-го поколения (источник: Bosch)

6. КАТАЛИТИЧЕСКИЕ НЕЙТРАЛИЗАТОРЫ (КАТАЛИЗАТОРЫ)

6.1. Основные типы катализаторов

Катализаторы ОГ используются в автомобилях с начала 70-х годов. Первые страны, в которых из-за жестких норм токсичности ОГ появились катализаторы, были США и Япония. В Германии автомобили начали оснащать катализаторами лишь в начале 80-х годов. С помощью катализаторов возникающие при сгорании бензина ядовитые вещества CO , CH , NO_x превращаются в безвредные CO_2 , H_2O и N_2 .

Для каталитического дожигания ядовитых компонентов ОГ их нужно пропустить через катализатор, прежде чем они покинут выхлопную систему. Внутри катализатора имеется очень пористый несущий материал из керамических или металлических блоков. Этот несущий материал покрывается сначала оксидным промежуточным слоем (Washcoat), а поверх него — каталитически активным слоем из благородных металлов (платины и/или палладия и родия). На каталитически активном слое происходят химические реакции, при которых еще ядовитые оксид углерода и оксиды азота превращаются в диоксид углерода

и элементарный азот, а углеводороды — в диоксид углерода и воду.

У регулируемых трехкомпонентных катализаторов (тройного действия) с помощью лямбда-зонда определяется остаточное содержание кислорода в выхлопе для регулирования состава смеси. Таким образом, можно соблюсти оптимальное соотношение топлива и воздуха $\lambda=1$. В результате получается точно адаптированный к катализатору состав ОГ. У новых систем степень нейтрализации ядовитых компонентов достигает 98 %.

Проблема традиционных регулируемых катализаторов тройного действия состоит в том, что для оптимальной нейтрализации вредных компонентов необходим коэффициент избытка воздуха, равный 1. Из-за этого их использование в дизельных двигателях и двигателях, работающих на бедной смеси, невозможно вовсе или только с очень большими ограничениями.

Были разработаны новые технологии и системы катализаторов, некоторые находят на пороге запуска в серийное производство. Речь идет о накопительных катализаторах, накапливающих NO_x в режиме бедной смеси и снова отдающих при регу-

лируемом обогащении смеси. Особые варианты катализаторов SCR могут использовать создаваемые в режиме бедной смеси углеводороды в качестве восстановителей. Регулирование смеси для восстановления катализатора выполняется по командам электронного блока управления двигателем. Между тем в катализаторах используются и другие материалы — барий, ванадий, вольфрам и иридий. На рис. 6.1 изображена принципиальная схема обычного катализатора ОГ.

Различают три типа конструкции катализаторов:

- **насыпной** (корпус катализатора заполнен гранулами, покрытыми каталитическим материалом) — в настоящее время не применяется;
- **керамический** (несущий материал — керамический блок);
- **металлический** (несущий материал — металлический блок).

6.2. Конструкция катализаторов

Катализаторы ОГ за последние годы превратились в технически сложные, активные системы очистки отработавших газов. В сочетании с другими системами они обеспечивают максимальное преобразование ядовитых компонентов ОГ в безвредные. Принципиальная конструкция катализаторов с момента их появления почти не изменилась, чего не скажешь о технологиях изготовления. В последние годы особенно сильно были улучшены термические и аэродинамические показатели, что привело к повышению степени нейтрализации и долгосрочной стабильности. Основные детали катализатора:

- корпус и выпускная система из нержавеющей стали (дорогие материалы);

- специальные подкладки (защита и фиксация для керамического блока);
- несущий материал или блок (металл или керамика);
- промежуточный, фиксирующий слой для благородных металлов;
- каталитически активный слой (платина, родий, палладий).

Корпус из нержавеющей стали

Корпус из нержавеющей стали необходим для обеспечения хорошей защиты от коррозии при образовании воды в процессе нейтрализации вредных компонентов. Лишь таким образом можно обеспечить достаточный срок службы систем выпуска ОГ — не менее 3–5 лет. В качестве материала используется хромистая или нихромовая сталь, стойкая к коррозии, кислотам и нагреву.

Специальные подкладки

Служат для фиксации керамического блока и компенсируют тепловое расширение керамического блока и корпуса из нержавеющей стали. Кроме того, они гасят колебания, принимают на себя механические нагрузки, а также осевые и радиальные ускорения. Подкладки состоят из специальной проволочной сетки или керамического волокна со вставкой из слюдяных пластинок. За счет переплетения слюдяных пластинок подкладки под воздействием температуры

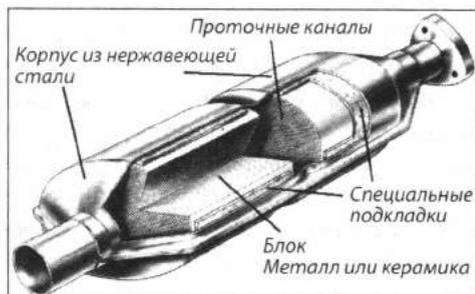


Рис. 6.1. Схема катализатора ОГ

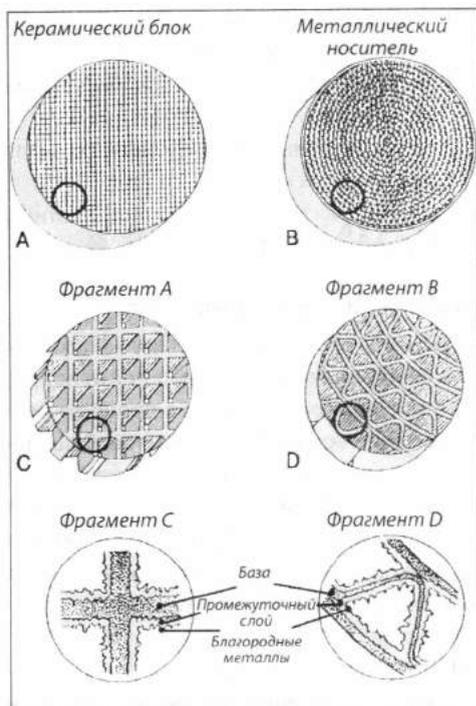


Рис. 6.2. Структура металлического и керамического носителей [источник: Seat]

расширяются и адаптируются к зазору между блоком и корпусом из нержавеющей стали таким образом, чтобы между ними не было люфта.

Керамический блок

Экструдированный керамический блок с сотовой структурой, состоящий из магнево-алюминиевого силиката (кордиерита) или карбида кремния, служит носителем катализатора и пронизан тысячами маленьких, параллельно расположенных каналов (65–95 каналов на см²). В одном блоке может быть до 8000 каналов. Это позволяет достичь увеличения общей имеющейся площади контактной поверхности. Толщина стенок у старых систем составляет 0,15 мм. Новая тонкостенная керамика

позволяет достичь толщины стенок 0,1–0,05 мм. На поверхность блока наносится промежуточный слой активаторов, так называемый **washcoat**. Этот промежуточный слой увеличивает имеющуюся поверхность примерно в 7000 раз. Он состоит из оксидов алюминия, оксидов магния и силикатов. В зависимости от общего размера катализатора для отработавших газов получается контактная поверхность 15000–18000 м² на литр объема катализатора. Это соответствует размеру одного-двух футбольных полей. Общая площадь поверхности может достигать 70000 м².

На такую огромную поверхность путем конденсации наносят сам каталитический материал — платину (Pt) или палладий (Pd) и родий (Rh). Соотношение платины и родия составляет 5: 1. С начала 90-х годов прогресс в технологии нанесения покрытий позволил использовать также соотношения Pd: Rh (от 5: 1 до 9: 1), а также триметаллические катализаторы (Pt: Pd: Rh от 1: 14: 1 до 1: 28: 1). В зависимости от размера катализатора используется 3–7 г платины, 1,5–5 г палладия и 0,8–1,5 г родия. Поскольку здесь речь идет об очень редких и дорогих благородных металлах, доступных лишь в ограниченных количествах, для катализаторов обязательно требуется замкнутый цикл «производство-утилизация-переработка».

Металлический блок

Металлический блок наматывается из металлической фольги толщиной 0,05 мм с сотовой структурой и спрессовывается в трубу-оболочку. Новые разработки допускают даже толщину фольги 0,03 мм. Добавка иттрия и гафния улучшают каталитические, электрические свойства фольги и ее стойкость к старению. Листы спаиваются между собой и с корпусом. Это существенное от-

личие от керамического блока. Промежуточный и каталитически активный слои наносятся точно так же, как и у керамического блока. Металлический блок по сравнению с керамическим имеет ряд преимуществ, так что его использование становится все более популярным.

6.2.1. Сравнение керамических и металлических катализаторов

Принцип нейтрализации вредных веществ у обоих типов катализаторов одинаков. Однако различия в конструкции и несущих материалах (блоке) дает преимущество катализаторам с металлическим блоком. Смотанная металлическая фольга толщиной 0,05–0,03 мм лучше выдерживает температурные и вибрационные нагрузки в вы-

пускном тракте. Требования к эксплуатации автомобиля у обоих вариантов катализаторов одинаковы. На рис. 6.2 показана сравнительная схема обоих вариантов, а в таблице 6.1 резюмированы их преимущества и недостатки.

6.2.2. Ресурсы благородных металлов для катализаторов

Благородные металлы платина, родий и палладий представляют в катализаторе наибольшую ценность. Ежегодная мировая добыча благородных металлов составляет около 300 тонн. Из них на платину приходится 180 тонн, а на родий всего 15 тонн. В настоящее время по дорогам Германии разъезжает «добра» на 500 млн евро в виде платины, родия и палладия. Более трети

Таблица 6.1. Сравнение двух вариантов катализаторов

Керамический катализатор	Металлический катализатор
Более низкая стоимость изготовления	Более высокая стоимость изготовления
Относительно зрелые технологии изготовления	Более сложные технологии изготовления
Чувствителен к механическим нагрузкам и колебаниям	Нечувствителен к механическим нагрузкам и колебаниям
Чувствителен к высоким температурам (При температурах выше 1000 °С начинается тепловое разрушение катализатора. Керамика плавится при 1400 °С. Около 1200 °С начинает отслаиваться покрытие и могут возникать прожоги)	Менее чувствителен к высоким температурам (Металлические катализаторы могут подвергаться воздействию температуры до 1600 °С, при этом также имеет место быстрое старение)
Время до достижения точки начала температурного скачка больше	Время до достижения точки начала температурного скачка меньше
Обогрев происходит хуже или обходится дороже	Обогрев проще, так как переднюю часть блока можно выполнить в виде нагревательного элемента
Более высокое аэродинамическое сопротивление по причине более толстых стенок несущего материала	Более низкое аэродинамическое сопротивление по причине более тонких стенок несущего материала
Возможен чуть более высокий расход топлива	Меньше расход топлива
Меньше масса	Более длительный срок службы, так как более термостоек
Используется во всех популярных автомобилях	Используется в очень мощных двигателях или в качестве пускового катализатора

ежегодно добываемой платины и более половины всего палладия идет в катализаторы. Платина в Германию поступает из России, Канады и Южной Африки. Благородные металлы относятся к редчайшим элементам земной коры. Их содержание в земной коре составляет 0,06–0,4 мкг на килограмм породы. В промышленных месторождениях содержится 3–5 мг на килограмм породы. Металлы добываются из руды или электролизного никелевого и медного шламов с помощью дорогих химических технологий.

Чтобы получить один грамм платины, нужно добыть с глубины 2000 м и переработать около 400 кг породы. При неизменном ежегодном потреблении платины хватит на 125 лет, а родия — примерно на 250. Всемирно известные и годные для разработки месторождения родия оцениваются всего в 3700 тонн, а платины — в 30 000 тонн. Мировые запасы палладия по последним данным оцениваются в 56 000 тонн.

Из-за скудных запасов благородных металлов совершенно необходимо направлять замененные и отработавшие катализаторы на замкнутый цикл переработки. При этом можно повторно использовать 99% платины, более 80% родия и 100% палладия. Утилизированные благородные металлы снова используются в производстве катализаторов. На СТО ложится большая ответственность за возврат старых катализаторов. При последовательно проводимой переработке можно ежегодно экономить благородные

металлы на сумму в несколько миллионов евро. Для переработки используется две технологии:

- **жидкостная химическая**, при которой металлы выделяются из блока с помощью кислот;
- **пирометаллургическая** (более эффективная, но более дорогая), когда металлы выплавляются при температуре около 1800°C.

6.2.3. Химические процессы в катализаторе

Химические катализаторы — это материалы, которые своим присутствием ускоряют химические реакции. При этом катализатор не вступает в химические реакции. В конце реакции он имеет то же состояние, что и в ее начале. Однако он не может изменить химическое равновесие, т.е. реакции, не способные протекать при естественных условиях, нельзя принудительно запустить катализатором.

Платина или палладий в сочетании с кислородом отвечают за окисление оксида углерода и углеводородов. Окислителем служит остаточный кислород выхлопных газов или кислород воздуха, закачанный насосом добавочного воздуха.

Родий в сочетании с оксидом углерода, содержащимся в выхлопных газах, отвечает за восстановление оксидов азота. На рис. 6.3 показан простой пример превращения вредных веществ в безвредные.

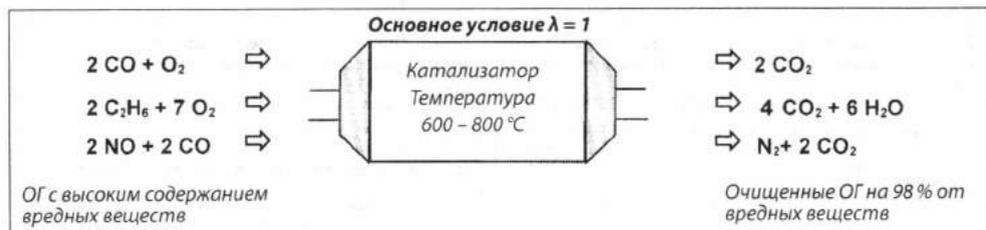


Рис. 6.3. Пример химического преобразования в катализаторе

6.2.4. Конверсионные характеристики нового катализатора ОГ

Степень нейтрализации вредных веществ в катализаторе обозначается индексом «k». Степень нейтрализации определяется следующим образом:

$$k = \frac{\text{концентрация}_{\text{нач.}} - \text{концентрация}_{\text{кон.}}}{\text{концентрация}_{\text{нач.}}} \times 100\%$$

Основным условием оптимальной степени нейтрализации — до 98% является точное соблюдение коэффициента избытка воздуха $\lambda = 1 \pm 0,005$. Этот очень узкий диапазон называют **лямбда-диапазоном**. Соблюдение таких очень жестких допустимых пределов возможно только с помощью электронных средств. Эти жесткие допуски не сравнимы с допустимыми пределами при проверке токсичности ОГ для проверки контура регулировки $\pm 0,02/0,03$.

Отношение объемного расхода ОГ к объему катализатора также влияет на степень нейтрализации. Особенно в плане продления срока службы это соотношение должно быть по возможности большим, так как лучше компенсируется возникающая «интоксикация» физического (отложения) или химического свойства (инертность материала). Размеры используемых в автомобилях систем выбираются, как правило, с запасом, чтобы обеспечить требуемый законодательством срок службы при неблагоприятных условиях работы. На рис. 6.4 показан процесс нейтрализации в современном катализаторе.

Еще один важный фактор высокой степени нейтрализации — точка начала температурного скачка катализатора (Light-off).

Точкой **Light-off** называется температура, при которой в катализаторе преобразуется 50% вредных веществ.

У катализаторов тройного действия точка Light-off находится на уровне 250°C, в то время как у окислительных катализаторов для дизельных двигателей из-за высокой концентрации кислорода в ОГ она достигается уже при 160°C (рис. 6.5).

6.3. Условия эксплуатации катализаторов

1. Только неэтилированное топливо!
При использовании этилированного топлива на каталитически активном мате-

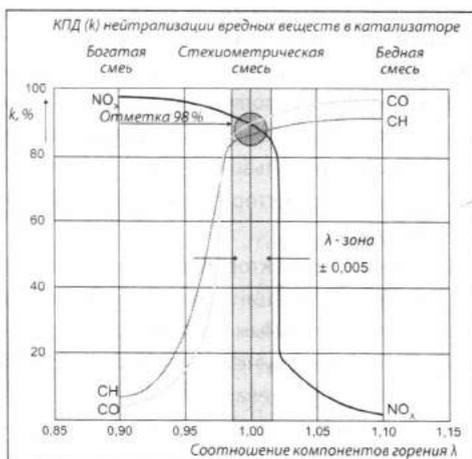


Рис. 6.4. Конверсионные характеристики нового катализатора

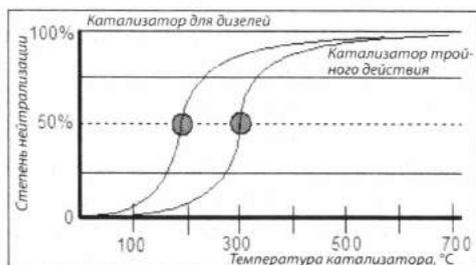


Рис. 6.5. Точка начального температурного скачка катализатора

риале откладываются свинцовые остатки и сульфаты свинца. В результате вредные вещества не могут вступать в реакции с благородными металлами. Катализатор становится неработоспособным (отравленным).

2. Катализатор должен очень быстро нагреваться до рабочей температуры 600–800 °С. Ниже 250 °С (холодный пуск) катализатор не действует, и выбросы вредных веществ очень высоки. С вводом нормы Евро-3 была упразднена 40-секундная работа на холостых оборотах при прохождении типового испытания. С вводом нормы Евро-4 испытание стало начинаться при –7 °С. Катализатор в этой фазе должен быстро преобразовывать СО и углеводороды, возникающие из-за необходимого обогащения смеси. Меры по быстрому достижению рабочей температуры:

- термическое изолирование выпускного коллектора с помощью воздуха или керамики и использование новых материалов для коллектора — например, листов стали;
- подача в коллектор добавочного воздуха для реализации химического дожига с дополнительным кислородом, что повышает степень нейтрализации, особенно в фазе прогрева;
- использование специального окислительного катализатора в качестве пускового;
- использование обогреваемых катализаторов (проблема: большой потребляемый ток);
- смещение угла зажигания в направлении более раннего.

3. Длительное поддержание температуры выше 800 °С ведет к быстрому старению катализатора из-за процессов спекания и роста кристаллов в промежуточном слое и в материале катализатора. При температурах выше 1000 °С начинается тепловое разрушение катализатора. Керамика плавится при 1400 °С. При 1200 °С начинает отслаиваться

покрытие, и могут возникать «прожижки». Металлические катализаторы в крайних случаях могут подвергаться воздействию температуры до 1600 °С, при этом также имеет место быстрое старение.

4. Никаких пропусков зажигания! Несгоревшее топливо остоится в катализаторе и при высоких температурах может воспламениться в нем и термически разрушить катализатор.

5. Запрещается буксировка автомобилей с неисправностями в системе зажигания или системе впрыска. Несгоревшее топливо может попасть в катализатор и воспламениться при пуске двигателя (кроме случаев, когда разряжен аккумулятор).

6. Необходимо точно соблюдение предписанного уровня масла. Содержащиеся в масле присадки могут попасть в катализатор и также привести к его термическому разрушению.

7. Срок службы катализатора с достаточной степенью нейтрализации составляет около 150 000 км пробега. При этом решающую роль играют условия эксплуатации. У автомобилей, используемых для поездок на короткие расстояния, катализаторы могут приходиться в негодность и при меньшем пробеге, а у автомобилей, преодолевающих в основном дальние расстояния — при большем.

8. Ни в коем случае не ставьте автомобили с катализаторами над легковоспламеняющимся материалом — например, над сухой травой. Из-за высокой температуры катализатора материал может загореться.

6.4. Катализаторы для бензиновых двигателей

6.4.1. Окислительный катализатор

Окислительные катализаторы (рис. 6.6) используются с двухтактными бензиновыми двигателями, дизельными двигателями и в ка-

честве пусковых катализаторов. В них нейтрализуются только CO и углеводороды. Оксиды азота не нейтрализуются. В сочетании с сажевым фильтром они служат для окисления NO до NO_2 , реагирующим в фильтре с сажей.

Будучи металлическими катализаторами, они устанавливаются в качестве предварительных или пусковых катализаторов в сочетании с катализатором тройного действия. В этом случае они находятся прямо на выпускном коллекторе или внутри него, при необходимости обогрываются и в фазе пуска и прогрева могут значительно снизить долю несгоревших углеводородов и оксида углерода. Возможно сочетание с системой впуска добавочного воздуха. Оксиды азота почти не образуются в фазе холодного пуска и поэтому их нейтрализация не требуется. Из-за

монтажа рядом с двигателем предпочтительным является металлический катализатор.

6.4.2. Трехкомпонентный катализатор (тройного действия)

Регулируемый катализатор тройного действия (рис. 6.7) соответствует современному состоянию техники и постоянно совершенствуется. Высочайшей степени нейтрализации катализатор достигает для всех вредных компонентов в пределах лямбда-диапазона при коэффициенте избытка воздуха $\lambda = 1 \pm 0,005$. У V-образных двигателей, как правило, работает по одному основному катализатору на каждом ряду цилиндров. Раньше использовались также системы без лямбда-регулирования в качестве нерегулируемого катализатора. При этом степень нейтрализации составляла лишь 50–60%.

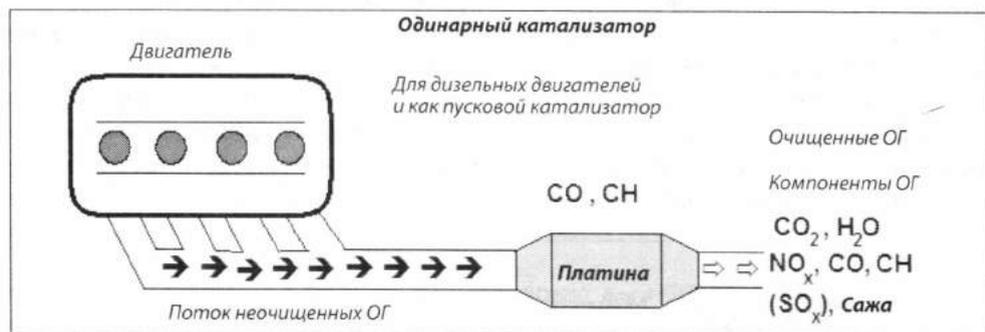


Рис. 6.6. Окислительный катализатор

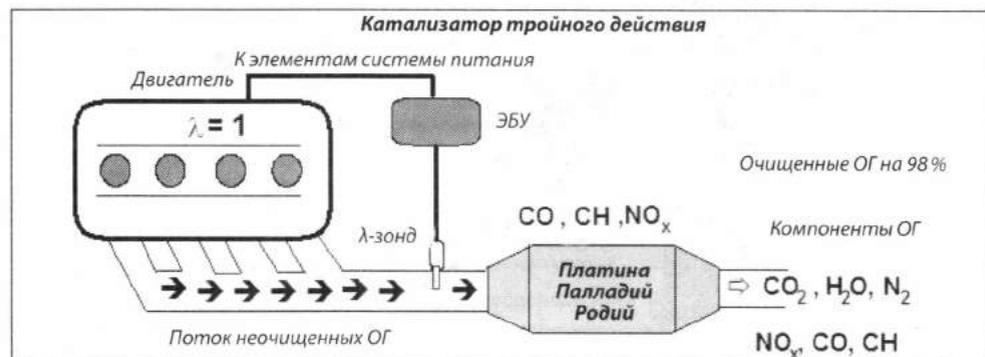


Рис. 6.7. Катализатор тройного действия

При определенных условиях испытаний европейского цикла (NEDC) двигатель объемом 2 литра, с расходом топлива около 9 л на 100 км и соотношением «топливо-воздух» $\lambda = 1$ выбрасывает на один километр следующие объемы вредных веществ:

СН — около 1,20 г

СО — около 6,70 г

NO_x — около 3,01 г

CO_2 — около 202 г

Это количество вредных веществ катализатор должен превратить в неядовитые компоненты. Чтобы соблюсти требования нормы Евро-3 (СО = 1,5 г/км, СН = 0,2 г/км и $\text{NO}_x = 0,15$ г/км), нужно было достичь степени нейтрализации не менее 85% по СО и более 90% по СН и NO_x . С появлением норм Евро-4 и Евро-5 требуется еще более высокая степень нейтрализации.

Пределы использования катализаторов тройного действия возникают при отклонении от стехиометрического состава смеси во время работы двигателя (двигатели, работающие на бедной смеси). В этом случае восстановление оксида азота стремится к нулю.

6.4.3. Требования к новым концепциям катализаторов

Для соблюдения новых норм токсичности ОГ были разработаны новые концепции с особенно эффективной нейтрализацией СО и СН при холодном пуске и прогреве. Как показали испытания, в течение первых трех минут после холодного пуска выбрасывается наибольшее количество СО и СН. Катализатор не успевает прогреться до температуры Light-off, и нейтрализация СО и СН почти не происходит. Новые концепции предлагают, к примеру, расположение катализатора ближе к двигателю или комбинации из предварительного и основного катализаторов. Все больше применяется подача добавочного воздуха. Впуск добавочного воздуха перед катализатором приводит к дожигу (дополнительному окислению СО и СН в CO_2 и H_2O в катализаторе). Кроме того, катализатор нагревается в результате химических реакций, что становится особенно заметно в фазе прогрева двигателя с быстрым достижением рабочей температуры.

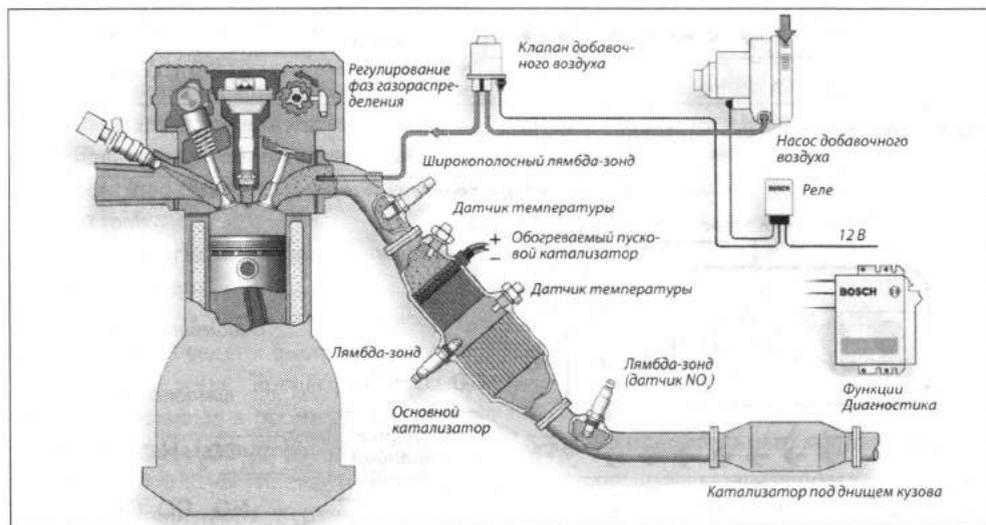


Рис. 6.8. Комплексная система очистки ОГ [источник: Bosch]

Самый большой потенциал улучшения катализаторов кроется в значительном сокращении времени на достижение точки начала температурного скачка. Не позднее, чем через 15 секунд после холодного пуска катализатор должен быть готов к работе. При этом важную роль играют также пассивные (например, изоляция выпускного коллектора) и активные системы (например, электрообогрев или система впуска вторичного воздуха). На рис. 6.8 изображена сложная система очистки ОГ с различными активными и пассивными компонентами. Несколько специальных катализаторов в одном выпускном тракте — это уже реальность.

На пороге запуска в серийное производство находятся катализаторы, способные восстанавливать оксиды азота при избытке воздуха. Их также называют **DeNO_x-катализаторами** и работают они с покрытиями из оксида ванадия, оксида вольфрама и оксида титана или с иридием. В настоящее время автопроизводители и изготовители систем занимаются апробированием различных систем для минимизации вредных веществ — как для соблюдения перспектив-

ных норм токсичности ОГ, так и для решения проблем при внедрении новых концепций двигателей (например, непосредственного впрыска бензина). С появлением бензиновых двигателей с непосредственным впрыском и двигателей, работающих на бедных смесях, стали необходимыми системы для снижения выбросов оксида азота при сгорании бедных смесей. Перспективные нормы токсичности ОГ не учитывают технических проблем технологий впрыска и сжигания. В таблице 6.2 приведен обзор используемых на сегодня вариантов. Необходимо обратить внимание, что эти системы могут использоваться и для бензиновых двигателей, работающих на бедных смесях, и для дизельных двигателей.

6.4.4. Катализаторы, расположенные рядом с двигателем

Системы, где катализатор, расположен рядом с двигателем, называют также **Close Coupled Catalyst (CCC)**. Преимущество этих систем состоит в предотвращении потерь тепла за счет размещения непосредственно на выпускном коллекторе. Время до достижения точки Light-off составляет всего

Таблица 6.2. Сравнение применяющихся технологий DeNO_x для дизельных двигателей и бензиновых двигателей с непосредственным впрыском

Технология нейтрализации NO _x	Применение	Восстановитель	Действие при бедной смеси	Тройное действие
Ванадиевый SCR-катализатор	Стационарные двигатели и установки для сжигания, грузовики	Мочевина, аммиак, внешнее добавление	Непрерывное, хорошее	Низкое
SCR-катализатор V ₂ O ₅ /WO ₃ /TiO ₂	Стационарные двигатели, грузовики	Мочевина, аммиак, внешнее добавление	Непрерывное, хорошее	Среднее
Иридиевый катализатор	Бензиновые; GDI Mitsubishi	Углеводороды из ОГ	Непрерывное, среднее	Среднее
Платиновый катализатор	Дизельное топливо; легковые а/м BMW	Углеводороды из ОГ	Непрерывное, слабое	Среднее
Накопительный катализатор NO _x	Бензиновые; FSI VW	CH ₄ , CO, H ₂ из отработавших газов	Прерывистое, хорошее	Высокое

несколько секунд. Проблемой при таком расположении являются высокая температура ОГ — до 1050 °С при полной нагрузке и отрицательное влияние на мощность и крутящий момент двигателя. Требуется очень точная аэродинамическая оптимизация и адаптация системы «коллектор — катализатор». Снижение выбросов CO и CH составляет около 70%. Схема расположения рядом с двигателем пускового и основного катализаторов показана на рис. 6.9 В качестве пускового катализатора используется окислительный катализатор с металлическим носителем, устанавливаемый очень близко к двигателю в выпускном тракте. При таком расположении пусковой катализатор очень быстро нагревается и сразу после пуска обеспечивает очень высокую степень нейтрализации CO и CH. В результате экзотермических химических реакций выделяется дополнительное тепло, забираемое отработавшими газами и обеспечивающее более быстрый нагрев основного катализатора. Система дополняется выпускным коллектором из листовой стали, изолированным воздушными зазорами.

Особым вариантом конструкции является расположенный рядом с двигателем основной катализатор без дополнительного пускового катализатора. Благодаря расположению рядом с двигателем основной катализатор

очень быстро достигает точки начала температурного скачка. За счет более высокой температуры быстрее протекают химические реакции. Общий объем катализатора можно уменьшить. Проблемой при этом расположении является создание достаточно термостойкого слоя, предотвращающего раннее термическое старение и, следовательно, сокращение срока службы катализатора.

6.4.5. Байпасная система

Байпасные системы бывают разных вариантов. Такие системы используются в основном для выравнивания в катализаторах слишком высоких или слишком низких температур ОГ при различных рабочих режимах двигателя. У этой системы (рис. 6.10) в фазе пуска отработавшие газы по короткому и прямому трубопроводу направляются из выпускного коллектора в катализатор. В фазе прогрева с помощью заслонки обеспечивается прямое поступление ОГ в катализатор. Небольшое сечение труб и большая скорость потока газов предотвращают возникновение тепловых потерь в выпускном тракте. Задний катализатор NO_x быстро нагревается до рабочей температуры. При высоких температурах ОГ заслонка открывается, и газы по обеим выпускным трубам устремляются в катализатор. Проходя более длинный путь,

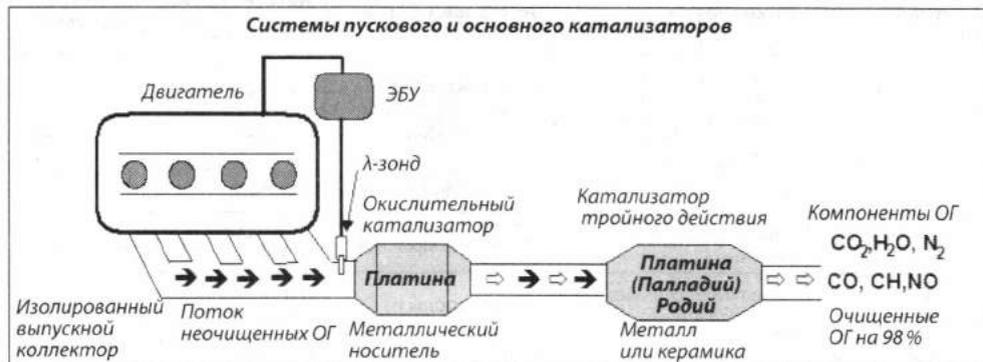


Рис. 6.9. Сочетание пускового и основного катализаторов

ОГ охлаждаются и не могут термически повредить катализатор. Эту систему, с вакуумным управлением, использует Mercedes в двигателях CGI. Датчик температуры определяет температуру ОГ и сообщает ее блоку управления, активирующему заслонку ОГ.

6.4.6. Катализатор с электрообогревом

Используя металлический блок (рис. 6.11) в качестве нагревательной спирали, можно быстро и непосредственно нагреть катализатор. Нагревом и регулированием температуры управляет электронный блок двигателя. Проблемой в этой системе является большая техническая сложность и вытекающая отсюда стоимость системы. Необходимо использовать аккумуляторные батареи

большой емкости, что увеличивает массу автомобиля и занимаемое пространство. Для небольших автомобилей эта концепция не подходит. Мощность потребляемая нагревом составляет 1,2–1,5 кВт. Катализаторы с электрообогревом впервые были применены в BMW Alpina B12 и BMW 7-й серии. Катализатор с электрообогревом (E-Kat) комбинируется с улавливателем углеводородов (CH-Adsorber). Управление обогреваемым катализатором осуществляется по CAN-шине. Увеличение мощности нагрева и совершенствование бортовых сетей позволяют добиться дополнительных возможностей.

Для обеспечения высокой потребляемой мощности катализаторов с электрообогревом без перегрузки бортовой сети требуется

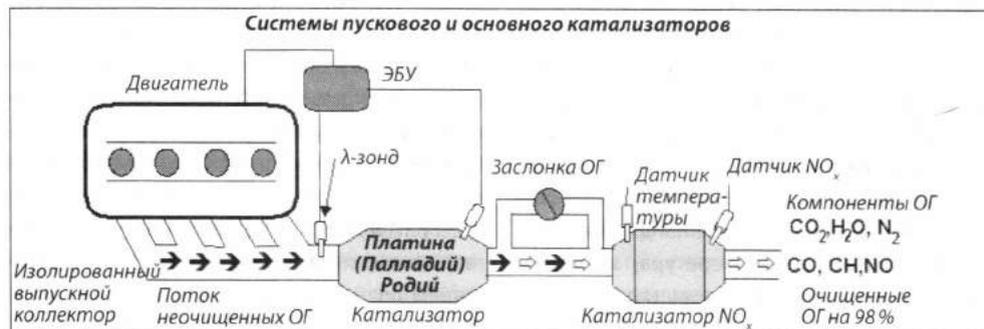


Рис. 6.10. Байпасная система

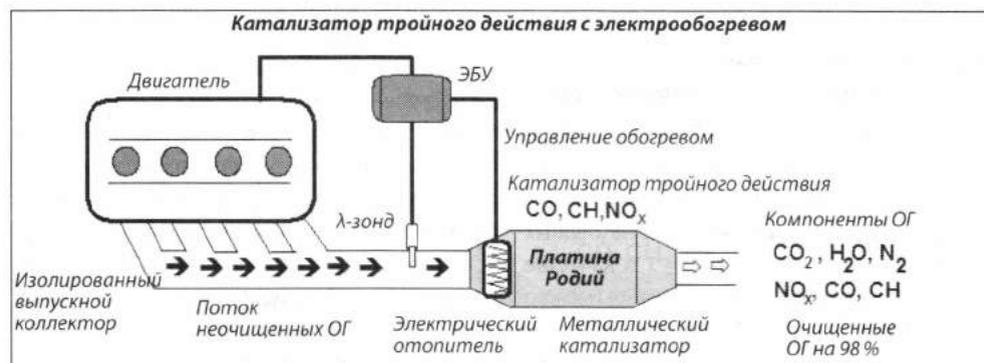


Рис. 6.11. Катализатор с электрообогревом

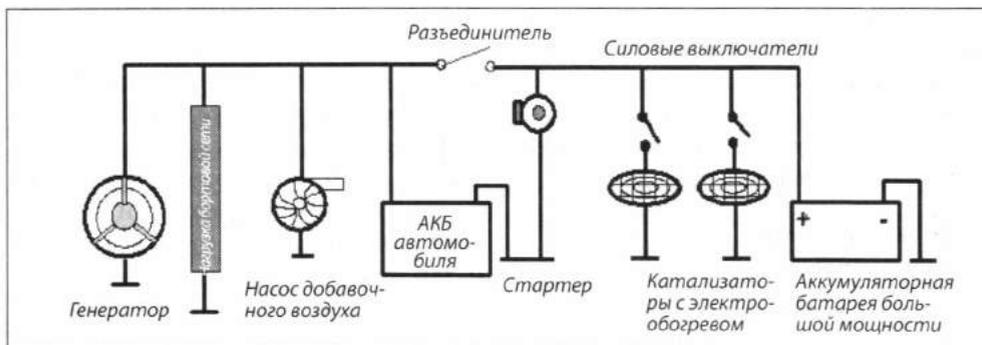


Рис. 6.12. Принципиальная схема катализатора с электрообогревом

дополнительная аккумуляторная батарея (рис. 6.12). Мощный генератор с водяным охлаждением обеспечивает работу бортовой сети даже при неблагоприятных условиях. Здесь требуются также интеллектуальное управление бортовой сетью и электронная система управления АКБ.

На стадии апробирования находятся варианты обогреваемых пусковых катализаторов с горелками, сжигающими топливо из бака и обогревающими катализатор. Проблемой является регулирование температуры, так как с одной стороны для нагрева требуется высокая температура, а с другой — слишком высокие температуры и локальные температурные пики могут привести к быстрому старению или термическому разрушению катализатора.

6.4.7. Накопительный катализатор — SCR-катализатор

SCR расшифровывается как **S**elective **C**atalytic **R**eduction (селективное каталитическое восстановление). Эти системы особенно подходят для двигателей, работающих на бедных смесях. В диапазоне выше $\lambda = 1$ в качестве восстановителей для оксидов азота можно использовать только углеводороды или аммиак. В накопительном катализаторе, также называемом **NO_x-адсорбером**, оксиды азота

NO_x удерживаются в режиме работы двигателя на бедных смесях до тех пор, пока двигателю не будет дана команда на образование богатой топливовоздушной смеси. В качестве накопительных компонентов для NO_x используются щелочные и щелочноземельные соединения. Во время накопления оксид азота каталитически окисляется. Возникающий при этом диоксид азота NO₂ вступает в реакцию с оксидом металла, образуя нитрат M-NO₃. При кратковременном обогащении смеси содержащиеся в выхлопе восстановители CH и CO расщепляют нитраты. NO отдается в богатую оксидом углерода среду, и под воздействием родия образуются CO₂ и N₂. При этом различают четыре этапа превращения.

1. Окисление → 2. Поглощение → 3. Расщепление → 4. Восстановление

Недостатками этой технологии являются высокая чувствительность к сере и снижение степени нейтрализации в диапазоне высоких температур. В режиме бедной смеси SO₂ в накопительном катализаторе окисляется до SO₃. Оксид серы, как и NO, реагирует с аккумулирующим оксидом, образуя агрессивные сульфаты. Они остаются в накопителе и в фазе обогащения, тем самым уменьшая его емкость и производительность.

Уже после небольшого пробега в катализаторе начинается отравление серой.

Снижается стойкость к старению, сокращается срок службы. Необходимое обогащение смеси в фазе восстановления приводит к увеличению расхода на 1,5–2%. Таким образом, срок службы накопительного катализатора в основном зависит от качества используемого топлива (в плане содержания серы). Вот причина, по которой выбросы NO_x у японских двигателей GDI в Японии уже достаточно давно удалось снизить с помощью накопительного катализатора. В Европе это решение долгое время было невозможным из-за высокого содержания серы в топливе. Так содержание серы до 500 промилле (ppm) существенно снижало степень нейтрализации и срок службы катализаторов. Ситуация изменилась с введением директивы 98/70/EG о качестве топлива, вступившей в силу 1 января 2000 г.

Используемые в грузовиках SCR-катализаторы (см. главу 7) с добавками на основе мочевины можно использовать и в легковых автомобилях. Не исключено, что с вводом Евро-5 эта технология будет использоваться и в более крупных бензиновых двигателях с непосредственным впрыском или в дизельных двигателях легковых автомобилей. Первые системы были представлены на автосалоне IAA 2005 концерном Mercedes-Benz в гибридных автомобилях для американского рынка.

6.4.8. Непрерывно работающие катализаторы восстановления

Концерн Mitsubishi в своих двигателях GDI использовала непрерывно работающий катализатор восстановления с иридиевым покрытием (рис. 6.13). Такой катализатор обеспечивает небольшую степень нейтрализации, но менее чувствителен к содержанию серы в топливе. Принцип действия селективного каталитического восстановления прост. NO_x восстанавливается в катализаторе за счет избытка CH до N_2 , H_2O и CO_2 . Выбросы NO_x можно уменьшить на 60%. Для этого катализатор должен работать в диапазоне температур 300–600°C. Проблема состоит в выбросах при холодном пуске.

Если перед обычным накопительным катализатором можно установить традиционный катализатор, то в случае с иридиевым катализатором это невозможно. Этому катализатору для восстановления оксидов азота необходимы содержащиеся в выхлопе углеводороды. По этой причине установка катализатора тройного действия перед иридиевым катализатором невозможна. Степень нейтрализации NO_x в иридиевом катализаторе заметно снизилась бы. Если поменять катализаторы местами, то температура ОГ на входе катализатора тройного действия окажется слишком мала для обеспечения

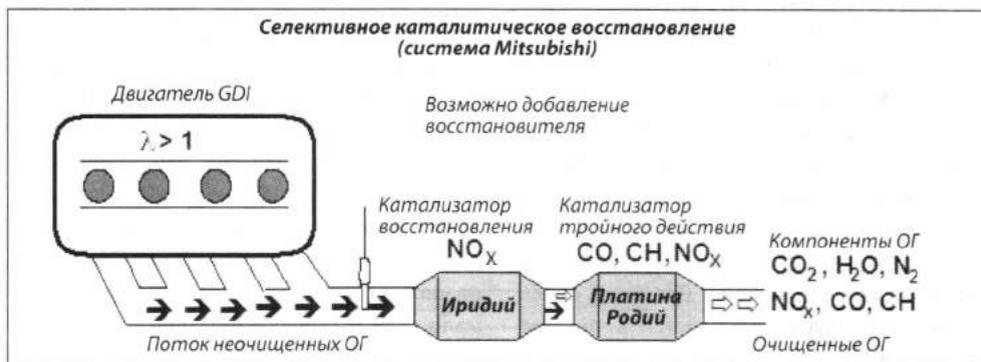


Рис. 6.13. SCR-катализатор непрерывного действия

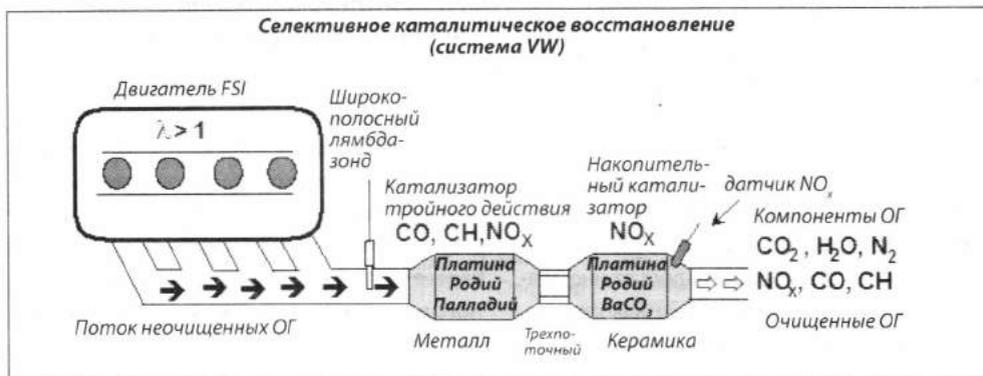


Рис. 6.14. SCR-катализатор прерывистого действия

удовлетворительной степени нейтрализации. Несмотря на это, концерн Mitsubishi применил эту концепцию катализатора тройного действия перед иридиевым катализатором в европейских двигателях GDI.

Для соблюдения европейских предельных значений для ОГ необходимо было дополнительно изменить картину впрыска и сгорания и адаптировать к европейским условиям испытаний и эксплуатации.

6.4.9. Прерывисто работающие катализаторы восстановления

Концерн Volkswagen для двигателей FSI с концепцией бедной смеси использует прерывисто работающий катализатор восстановления с платиной и родием с примесью щелочного соединения, карбоната бария (BaCO₃). Peugeot и Citroën тоже используют эту технологию в двигателях HPI.

В этой системе (рис. 6.14) NO окисляется кислородом до NO₂ на слое платины катализатора и аккумулируется в накопителе. Накопление оксидов азота происходит не постоянно. Через определенные интервалы требуется восстановление. Для этого смесь каждые 60 секунд обогащается в течение 2 секунд, и накопленный NO_x восстанавливается под воздействием родия.

Датчик NO_x на выходе катализатора служит для контроля за накоплением оксидов азота. Катализатор оптимально работает в диапазоне от 250 °С до 500 °С. Чтобы выдержать этот температурный диапазон даже при высоких нагрузках, требуется охлаждение отработавших газов. Для обеспечения хорошего теплоотвода система выпуска ОГ между катализаторами делается трехпоточной. Кроме того, на пусковой катализатор ОГ подается встречный воздушный поток.

Проблемой в этой системе является также ухудшение способности накапливать NO_x из-за сульфатизации накапливаемого материала. Сера выгоняется лишь при температурах выше 650 °С. Для удаления серы используются различные стратегии: естественное удаление серы при высокой температуре ОГ, управляемое электроникой двигателя переключение с бедной смеси на богатую и, наоборот, в зависимости от сигналов датчика NO_x. Постоянное изменение насыщения смеси называют лямбда-скачками. При удалении серы особое значение придается предотвращению образования сероводорода (H₂S). Содержащее мало серы или лучше вообще не содержащее серы топливо совершенно необходимо для высокого КПД и длительного срока службы

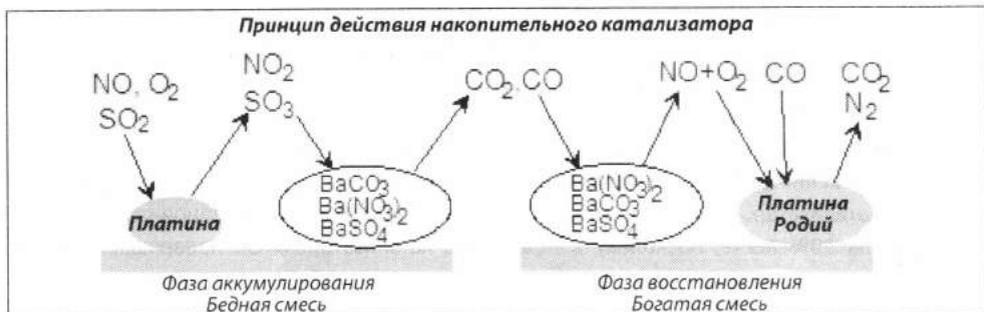


Рис. 6.15. Принцип удаления серы в накопительном катализаторе

системы. В настоящее время повсеместное использование невозможно.

На рис. 6.15 показаны процессы в накопительном катализаторе при бедной смеси в фазе аккумуляирования NO_x (слева) и при богатой смеси в фазе восстановления (справа).

6.5. Катализаторы для дизельных двигателей

Дизельные двигатели всегда работают с избытком воздуха и в силу конструкции имеют небольшие выбросы CO и углеводородов. В результате в дизельном двигателе не хватает CO для восстановления оксидов азота в традиционных катализаторах. По этой причине в дизельных двигателях нельзя устанавливать катализаторы тройного

действия. Для дизельных двигателей нужно было разработать совершенно новые концепции очистки ОГ. Уменьшения концентрации вредных веществ лишь за счет внутримоторных технологий уже недостаточно. Ниже описаны некоторые новые, внешние системы очистки ОГ для дизельных двигателей.

6.5.1. Дизельный катализатор

Традиционный дизельный катализатор (рис. 6.16) представляет собой обычный окислительный катализатор для нейтрализации оксида углерода и углеводородов. В качестве благородных металлов для окисления используются платина и частично палладий. Из-за высокого содержания кислорода в ОГ процессы окисления в катализаторе протекают очень эффективно. CH и CO окисляются уже при температурах выше 160°C .

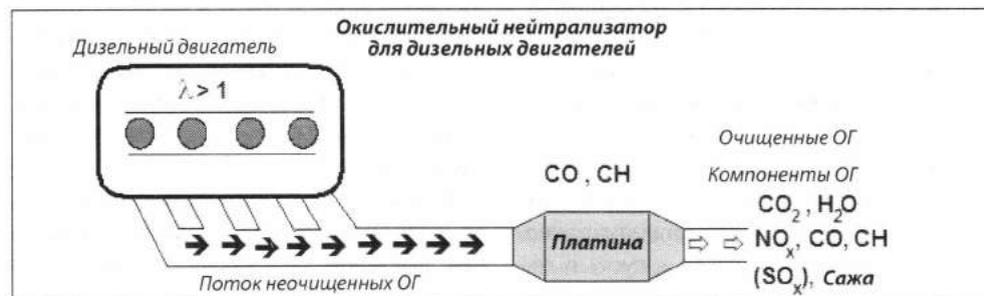


Рис. 6.16. Дизельный катализатор

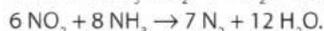
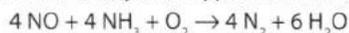
Поскольку частицы захватывают также углеводороды и оксид углерода, то прилипающие к частицам вредные компоненты нейтрализуются. С использованием окислительных катализаторов нельзя существенно снизить собственно выбросы частиц. Пройдя через катализатор, частицы становятся примерно на 30% легче, поскольку в нем нейтрализуются содержащиеся в частицах и прилипшие к ним углеводороды и оксид углерода. Зерна сажи остаются. Для соблюдения предельных значений Евро-2 и Евро-3 это уже был пройденный путь. Для выполнения же требований Евро-4 и других стандартов этого уже недостаточно.

6.5.2. SCR-катализатор (Катализатор с селективным каталитическим восстановлением)

С появлением нормы Евро-4 значительно снизились предельные концентрации вредных компонентов и для грузовых автомобилей. По сравнению с Евро-3 для оксидов азота это означает уменьшение на 30%, а по выбросам частиц — даже на 80%. С 2005 года в Европе была серийно запущена технология SCR. Для стандарта Евро-5 дополнительно требуются датчики NO_x и аммиака (NH_3). Новые системы в сочетании с сажевыми фильтрами обеспечивают большой потенциал и для использования в легковых автомобилях. Следует обратить внимание, что накопительные SCR-катализаторы не только имеют точку начала температурного скачка (около 200°C), но и не позволяют достичь достаточной степени нейтрализации выше определенной температуры (около 450°C).

Сочетание сажевого фильтра, рециркуляции ОГ и систем катализаторов, работающих по принципу селективного каталитического восстановления (SCR), готово к пуску в серийное производство, а у некоторых автопроизводителей этот вопрос уже решен.

Эти катализаторы называют также **SINO_x -катализаторами**. Покрытие катализатора состоит из $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ (оксида ванадия или диоксида титана) или $\text{V}_2\text{O}_5/\text{WO}_2/\text{TiO}_2$ (оксида ванадия, диоксида вольфрама или диоксида титана). Для восстановления оксидов азота нужно впрыскивать восстановитель в ОГ перед катализатором. Он превращает оксиды азота в N_2 и H_2O . Степень нейтрализации составляет около 90% NO_x . В качестве восстановителя используется газообразный или растворенный в воде аммиак (NH_3) или мочевины ($[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$). Разложение раствора мочевины происходит в гидролизном катализаторе (полное нейтрализация NH_3 и CO_2). В качестве гидролизных катализаторов можно использовать как отдельные оксиды металлов — Al_2O_3 и TiO_2 (анатас) так и имеющиеся в катализаторе оксиды благородных металлов. Химические реакции превращения оксидов азота начинаются примерно при 200°C и протекают по следующим уравнениям:



Технология SCR (рис. 6.17) базируется на добавке, впрыскиваемой в поток ОГ. В качестве добавки используется 32,5% водный раствор мочевины ($\pm 0,5\%$), находящийся в отдельном баке. Водный раствор мочевины называют **AdBlue®**, он специфицирован стандартом DIN 70 070. Расход AdBlue составляет около 4–6% расхода топлива. Раствор мочевины впрыскивается в поток ОГ, где она под воздействием температуры и содержащейся в ОГ воды выделяет аммиак. Аммиак превращает образующиеся при сгорании оксиды азота в SCR-катализаторе в молекулярный азот и воду.

Точная дозировка добавки, зависящая от нагрузки и оборотов — один из центральных факторов регулировки системы. Отношение мочевины к дизельному топливу составляет около 6:100. Дозировка в основ-

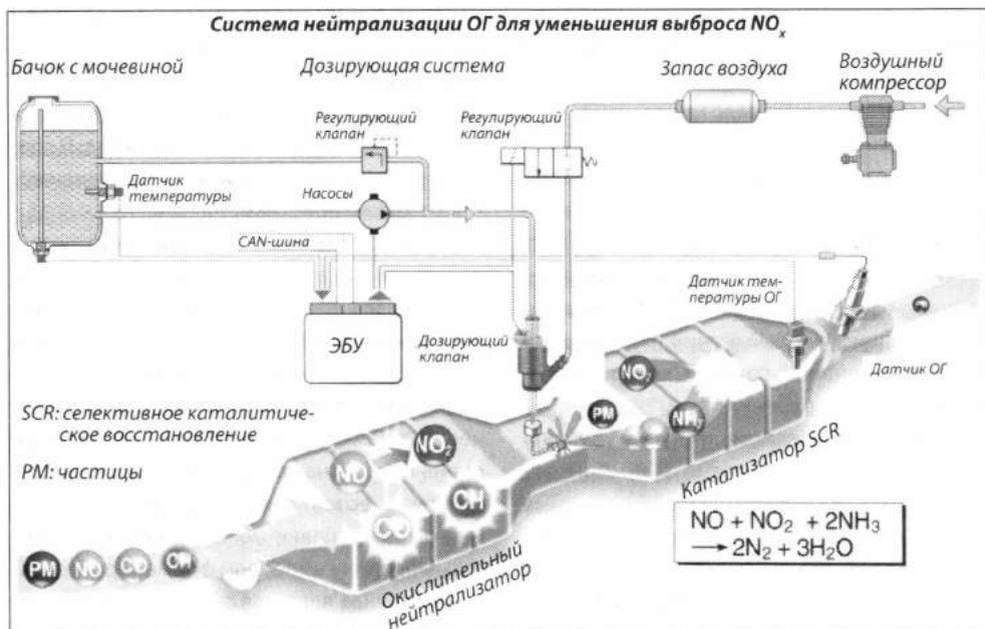


Рис. 6.17. Комбинированная система очистки ОГ [источник: Bosch]

ном зависит от температуры катализатора и общих выбросов NO_x . Однако учитываются и обменные реакции NO_x , поглощение NH_3 в катализаторе, температура наддувочного воздуха и влажность воздуха. Впрыск добавки происходит согласно характеристике. Очистка ОГ на базе технологии SCR позволяет снизить выбросы оксидов азота на 80% и кроме того, уменьшает выбросы частиц примерно на 40%.

Благодаря технологии SCR грузовые автомобили легко выполняют жесткие требования по содержанию NO_x стандарта Евро-4 и даже Евро-5.

Для оптимальной реакции в катализаторе важна точная дозировка и регулирование впрыска мочевины. Для этого необходимы датчики, измеряющие температуру, концентрацию, электропроводность и уровень заполнения раствора мочевины, и передающие данные в реальном времени в систему кон-

троля SCR. Измерение температуры важно потому, что при -11°C раствор замерзает, а замерзшая мочевина расширяется примерно на 10%. При слишком сильном падении температуры бак и трубопроводы необходимо обогреть. Отдельные компоненты системы должны быть рассчитаны на давление замерзшей мочевины. Выше порядка 40°C стабильность **AdBlue®** низка, и может потребоваться дополнительное охлаждение добавки.

Важную роль играет новый датчик мочевины. Если датчик фиксирует сильно отличающуюся, например, явно слишком малую концентрацию мочевины в баке, то впрыск прекращается. Концентрация определяется по принципу электропроводности раствора. Таким образом, можно распознать как слишком низкий уровень заполнения, так и (по косвенным признакам) наличие посторонних веществ в баке. Эта информация может отображаться на панели приборов или обраба-

тываться системой OBD. Возможен также механизм контроля, автоматически снижающий мощность двигателя на 30–50%, если в баке оказывается слишком мало мочевины.

Возможно два варианта датчиков. Так называемый **DT-датчик** находится в выпускном трубопроводе между бачком с мочевиной и насосом и измеряет концентрацию, электропроводимость и температуру протекающего раствора мочевины. **DLT-датчик** — многофункциональный датчик, находящийся непосредственно в баке и контролирующей уровень заполнения.

При недостаточной температуре или времени реакции в системе SCR могут образовываться нежелательные побочные продукты (например, сульфат аммония или гидросульфат аммония). Эти побочные продукты могут деактивировать катализатор. Если после SCR-катализатора установить окислительный катализатор, то возникает опасность повторного образования NO_x . Проблематичной является дозирование мочевины или аммиака при непостоянных условиях эксплуатации двигателя. Здесь кроется самая большая проблема для запуска серийного производства. Системы очень чувствительно реагируют на ошибочные дозы. Если ввести слишком мало мочевины, то ограничится степень

нейтрализации, если ввести ее слишком много, то некоторая часть восстановителя будет выброшена неизрасходованной. Это приводит к появлению неприятного запаха и новым выбросам вредных веществ. Подача восстановителя происходит в зависимости от характеристики.

Концерн Mercedes-Benz для своих новых дизельных катализаторов использует добавку под названием **BluTec**, похожую на **AdBlue**. Еще одной альтернативой, которую можно использовать в качестве добавки, является «DepoXium». Это смесь водного раствора мочевины и аммонийной добавки. Ее свойства очень похожи на свойства **AdBlue**, но температуру замерзания можно понизить до -35°C . В качестве добавки можно также использовать мочевину в твердой форме. Проблемой в этом случае является образование токсичных паров, если автомобиль загорится. Для применения в легковом автомобиле опробуется впрыск мочевины с воздухом. В таблице 6.3 приведено сравнение возможных восстановителей на основе мочевины.

Основной проблемой всех новых систем катализаторов является их чувствительность к сере. Особенно у накопительных катализаторов пространства для оксидов азота могут быть заняты и серой, из-за чего резко падает способность катализатора к аккумулярованию

Таблица 6.3. Сравнение восстановителей для SCR-катализаторов

Параметр	Водный раствор мочевины, AdBlue	Карбамат аммония	Твердая мочевина	Жидкая мочевина
Плотность, г/см ³	0,97	1,6	1,34	0,61
Масса на 1 г NO, г	2,9	1,3	1	0,57
Объем на 1 г NO, см ³	3	0,81	0,75	0,93
Гидролизный катализатор	Необходим	Нет	Необходим	Нет
Токсичность	Да	Да	Да	Нет
Дозировка	Высокая	Средняя	Низкая	Высокое
Замерзание	Да	Нет	Нет	Нет

нию NO_x . Уже при небольшом пробеге имеет место отравление серой и нейтрализации оксидов азота оказывается недостаточно. Эта проблема касается бензиновых и дизельных двигателей. На рис. 6.18 изображена основная зависимость степени нейтрализации от содержания серы в топливе.

6.5.3. Прочие системы катализаторов для дизельных двигателей

Катализатор CH-SCR (Катализатор с CH-селективным каталитическим восстановлением)

Функцию аммиака, как восстановителя, могут выполнять и другие, безазотные восстановители — например, углеводороды, которые всегда содержатся в выхлопе в известной концентрации. При необходимости можно впрыскивать дополнительный восстановитель (топливо) либо сразу после сжигания в камеру сгорания или непосредственно перед катализатором в систему выпуска. Удаление оксидов азота происходит путем восстановления имеющихся угле-

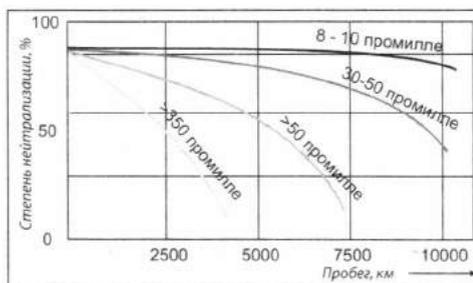


Рис. 6.18. Характеристика степени нейтрализации в зависимости от содержания серы в топливе

водородов. Чтобы система работала оптимально, необходимо определенное соотношение CH и NO_x . Степень нейтрализации может составлять до 60% NO_x . При температуре ниже 100°C поглощательная способность системы очень мала, а свыше 350°C могут окислиться используемые цеолиты (щелочные силикаты алюминия). До сих пор известно два основных способа: **низкотемпературные катализаторы** на базе платины и **высокотемпературные катализаторы** на базе цеолитов.

На рис. 6.19 показана зависящая от температуры картина нейтрализации молекул CH .

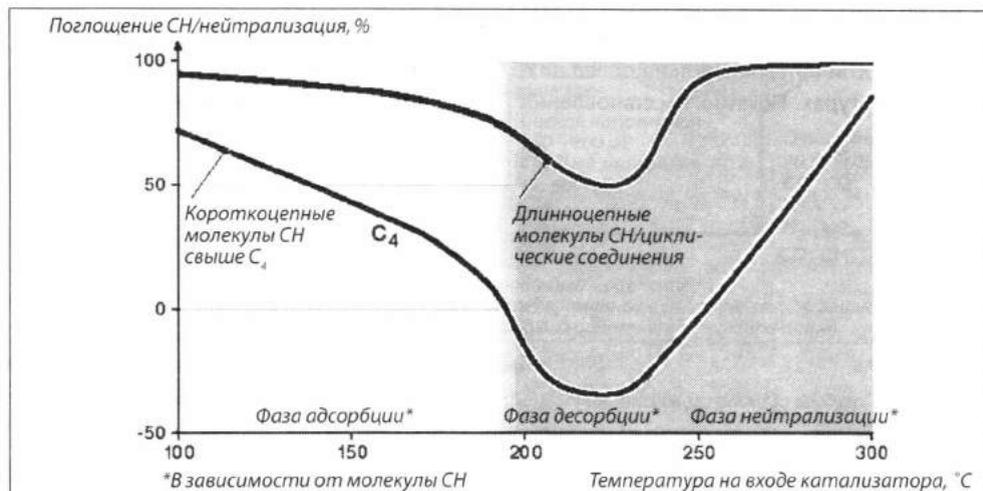


Рис. 6.19. Преобразование CH

Селективная рециркуляция оксидов азота (SNR)

Еще один перспективный вариант — селективная рециркуляция оксидов азота. В NO_x -адсорбере со щелочным или щелочноземельным покрытием улавливаются и отфильтровываются оксиды азота NO_x . Во время накопления оксиды азота каталитически окисляются. Затем в камеру сгорания возвращается NO , где преобразуется. Оксиды азота NO_x улавливаются уже при температуре ОГ 150°C , а отдаются лишь при 350°C .

Плазменная технология и микроволновая индукция

При плазмоиндуцированной очистке в отработавших газах создаются радикалы. Радикалы запускают реакции разложения или превращения вредных компонентов. Отработавшие газы проходят через реактор, в котором высокоэнергетические электроны создают радикалы. Плазма — это газ, ионизирующийся при подаче электрического напряжения. Из-за большого количества свободных электронов она обладает высокой химической активностью. Эта активность используется для проведения реакций, для которых потребовалось бы большое количество энергии при значительно более низких температурах. Помимо восстановления

оксидов азота также происходит уменьшение выбросов частиц. Преимуществом этих систем является независимость от температуры ОГ и мгновенное действие при включении плазмогенератора. Таким образом, система может начать работать сразу после холодного пуска. Проблемы этих систем заключаются в их очень высоком энергопотреблении, приводящем к увеличению расхода топлива и снижению степени нейтрализации оксидов азота до неудовлетворительного уровня. Эти разработки пока находятся на начальной стадии.

Для снижения вредных выбросов также апробируются технологии с микроволновой индукцией. По микроволновому нагреву уже есть перспективные наработки и небольшие прототипы, но еще требуется прояснить множество моментов:

- обеспечение надежного экранирования микроволновой энергии;
- обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) системы в целом;
- обеспечение достаточно большой микроволновой энергии без дополнительной нагрузки на бортовую сеть;
- обеспечение достаточно компактной конструкции для встраивания в автомобиль.

Приемлемые решения и в этой системе появятся лишь через несколько лет.

7. ЛЯМБДА-РЕГУЛИРОВАНИЕ И ЛЯМБДА-ЗОНДЫ

Как уже говорилось, для соблюдения норм токсичности ОГ системы должны обеспечивать высокую степень нейтрализации вредных компонентов. Ее можно достичь лишь в узком интервале насыщенности смеси. При использовании электронных систем впрыска состав смеси регулируется путем изменения количества топлива. При этом обогащение и обеднение смеси происходит не скачками, а с заданными линейными изменениями. Со-

временные системы способны автоматически программироваться, адаптируясь к разным двигателям, и компенсировать изменения смеси на протяжении всего моторесурса. Однако адаптивные регулировки возможны только в пределах заданных параметров. На рис. 7.1 показан общий принцип работы контура лямбда-регулирования.

Используются различные конструкции лямбда-зондов. Наряду с давно использу-

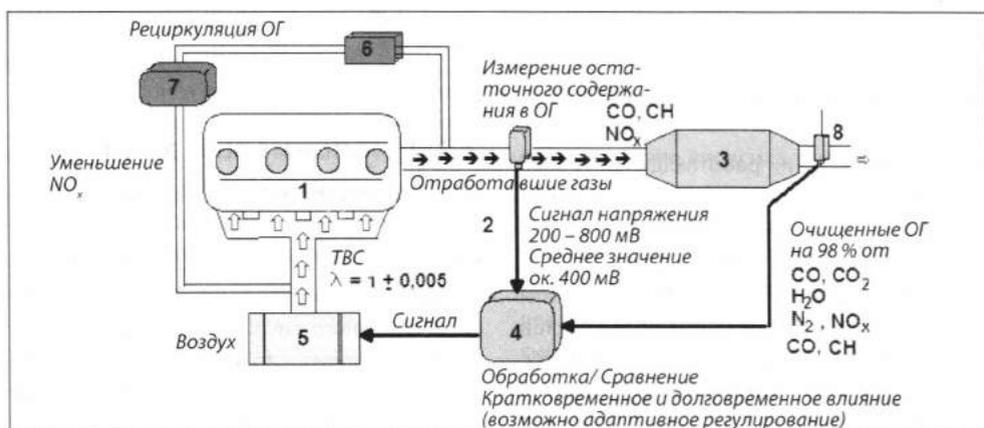


Рис. 7.1. Блок-схема контура лямбда-регулирования

1. Двигатель внутреннего сгорания
2. Управляющий лямбда-зонд
3. Трехкомпонентный катализатор
4. ЭБУ
5. Датчик массового расхода воздуха, исполнительный элемент системы питания
6. Клапан системы рециркуляции ОГ
7. Радиатор системы рециркуляции ОГ
8. Диагностический лямбда-зонд

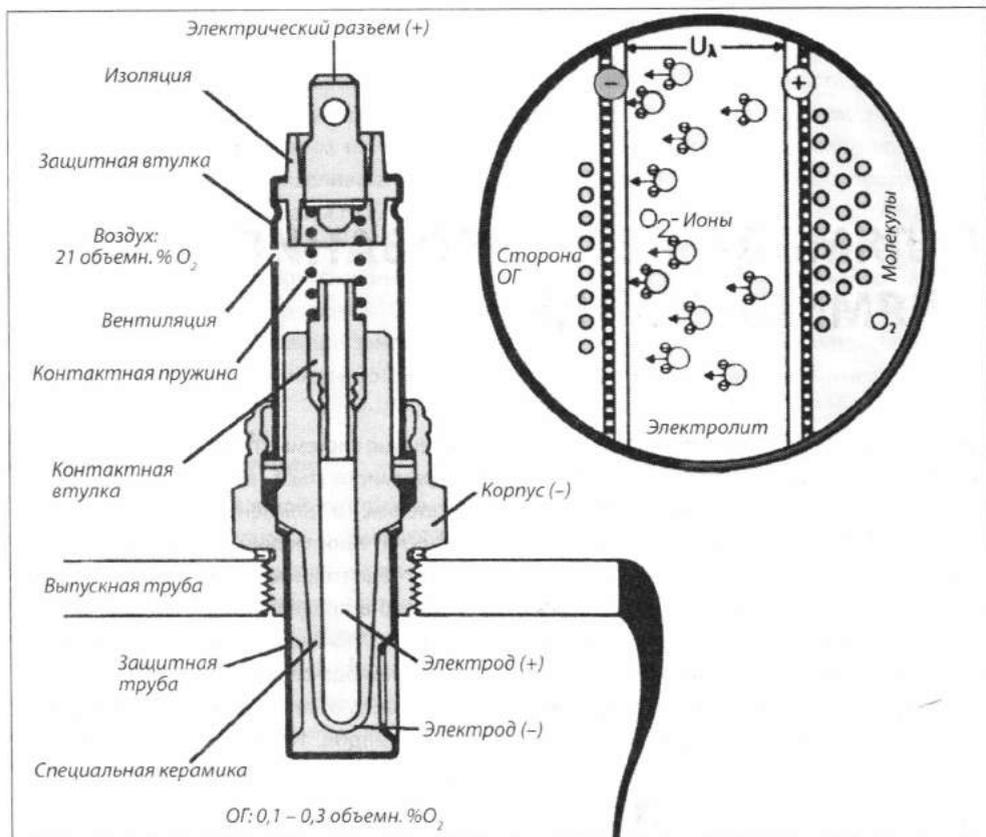


Рис. 7.2. Функция зонда напряжения [источник: Opel]

ющимися зондами, работающими только при стехиометрической смеси, все чаще используются широкополосные лямбда-зонды (LSU-зонды). Лямбда-зонды устанавливаются в потоке ОГ таким образом, чтобы они определяли репрезентативный состав ОГ и не могли получить ни термических, ни механических повреждений. У новых систем устанавливаются только обогреваемые зонды. Их не нужно устанавливать непосредственно рядом с двигателем и, несмотря на это, они быстро нагреваются до рабочей температуры — не менее 300 °С. Ниже кратко описаны различные типы зондов.

7.1. Циркониевый зонд или зонд напряжения

Изображенный на рис. 7.2 лямбда-зонд работает по принципу гальванического концентрационного кислородного элемента. Он состоит из полупроводникового электролита (диоксид циркония ZrO_2 и триоксид иттрия Y_2O_3), который начинает пропускать ток — ионы кислорода — при температуре около 300 °С. Кислород из наружного воздуха или эталонного воздуха диффундирует через электролит и ионизируется. Ионы накапливаются на покрытом платиной электроде со стороны ОГ и образуют относительный избыток

электронов («минусовой» полюс). Со стороны воздуха возникает относительный недостаток электронов («плюсовой» полюс). Разность потенциалов зависит от содержания кислорода в ОГ и, соответственно, от состава смеси. Сигнал напряжения анализируется управляющей электроникой, сравнивается с жестко заданным опорным напряжением и используется для коррекции смеси.

Если измеренное зондом напряжение составляет около 800 мВ (богатая смесь), то она будет обедняться с заданным линейным снижением до тех пор, пока зонд не измерит напряжение около 200 мВ (бедная смесь). После этого смесь обогащается с заданным линейным увеличением до тех пор, пока не будет измерено напряжение около 800 мВ. При этом напряжение постоянно сравнивается с жестко заданным опорным напряжением 450 мВ. На рис. 7.3 показано типичное прохождение сигнала этого лямбда-зонда. В особых условиях работы (холодный пуск, полная нагрузка и пр.) сигналы лямбда-зонда подавляются либо электроника присваивает им более низкий приоритет. Сигналы зонда подавляются также в программе аварийной работы.

Этот тип зонда называют также скачковым зондом. Есть зонды, использующие в качестве опорной величины кислород воздуха, и зонды, работающие с внутренней опорной атмосферой. Обогреваемые зонды быстрее достигают рабочей температуры и могут быстрее передавать анализируемые электроникой сигналы. Этот зонд можно использовать в системах OBD и в качестве управляющего зонда и в качестве диагностического.

7.2. Зонд из диоксида титана или резистивный зонд

В отличие от зонда напряжения (циркониевого зонда) зонд из диоксида титана (рис. 7.4)

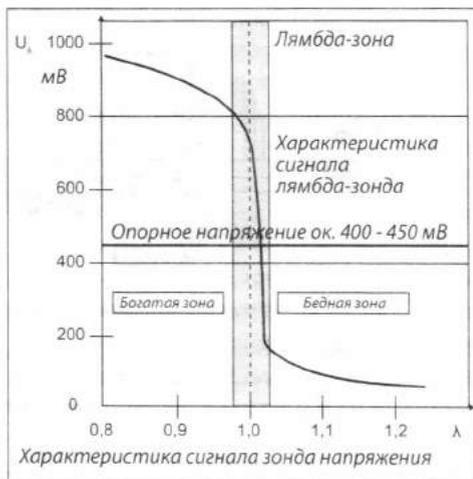


Рис. 7.3. Характеристика сигнала зонда напряжения

является резистивным. У этого зонда в зависимости от содержания кислорода в ОГ скачкообразно изменяется электрическое сопротивление. Это, в свою очередь, вызывает изменения напряжения на зонде. Для этого зонда не требуется опорная атмосфера. Она реагирует на абсолютное парциальное давление кислорода. Вокруг нескольких толстопленочных элементов зонда расположен герметичный корпус. Электрическое сопротивление диоксида титана изменяется пропорционально парциальному давлению кислорода в смеси. При слишком большой концентрации кислорода в ОГ ($\lambda > 1$) диоксид титана вступает в реакцию и становится менее проводимым. При низкой концентрации кислорода в ОГ ($\lambda < 1$) диоксид титана становится более проводимым. В обоих случаях изменяется сопротивление зонда. У диоксида титана (TiO_2) эти изменения особенно заметны при высоких температурах.

Зонду не требуется эталонный воздух, но блок управления через комбинацию из резисторов должен запитываться постоянным напряжением 5 В. При падении

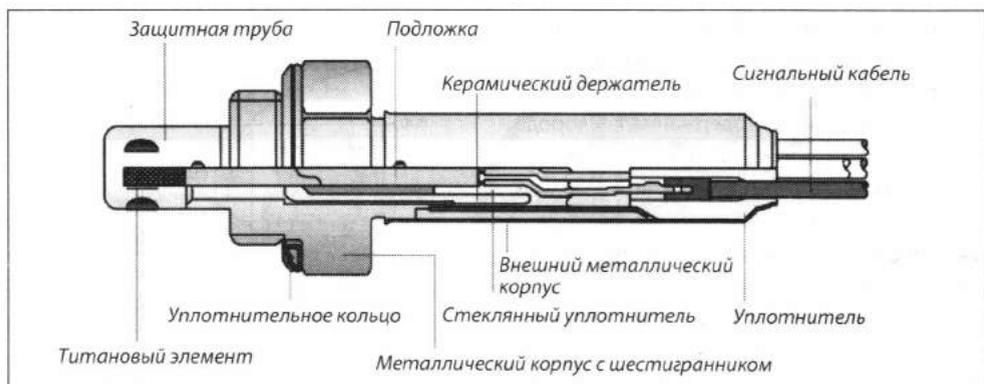


Рис. 7.4. Схема резистивного зонда (источник: NGK)

напряжения на резисторах возникает необходимый для ЭБУ сигнал. Использование нагревательного элемента в головке датчика обеспечивает быструю готовность к работе. Точка начала температурного скачка — около 200°C. Мощность нагревательного элемента составляет около 7 Вт и позволяет достичь этой температуры менее чем за 20 секунд. Это положительно

сказывается на токсичности выхлопа в фазе прогрева двигателя. Электронное управление нагревательным элементом в обычном режиме работы обеспечивает оптимальную температуру в 650°C. Регулирующей величиной для температуры служит сигнал зонда в режиме бедной смеси. На рис. 7.5 показана характеристика напряжения и сопротивления зонда. На сопротивление зонда, помимо

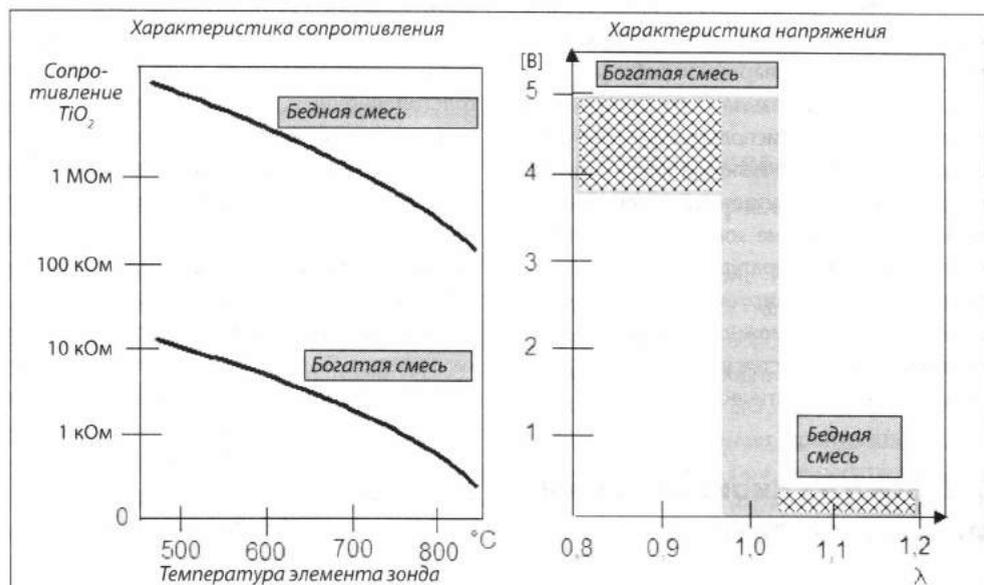


Рис. 7.5. Характеристика сопротивления и напряжения зонда из диоксида титана (источник: Opel)

содержания кислорода в ОГ, влияет и температура ОГ. Таким образом, напряжение зонда можно анализировать и для определения температуры ОГ. При очень высоких температурах ОГ падение напряжения в диапазоне бедных смесей является индикатором при распознавании критических температур ОГ. При слишком высокой температуре ОГ в двигателе запускаются функции защиты катализатора, предотвращающие его повреждение. Этот зонд используется в качестве управляющего зонда в системах OBD.

7.3. Широкополосный лямбда-зонд или универсальный лямбда-зонд (LSU)

Лямбда-зонд этого типа представляет собой новое поколение зондов, многократно ис-

пользуемых в качестве предкатализаторных и имеющих очень широкий диапазон измерений. Это позволяет оптимально использовать их для двигателей, работающих на бедных смесях, газе и дизтопливе. Значение лямбда выдается не в виде скачкообразно растущей кривой напряжения, как у циркониевого зонда, а в виде почти линейной кривой роста силы тока. Благодаря этому теоретически возможно измерение значения лямбда в большом диапазоне измерений (более широкий диапазон) от $\lambda = 0,7$ до $\lambda =$ бесконечности. Надежно анализируемые сигналы получают при значениях лямбда до 3,4. Значение λ определяется не по изменению напряжения, а по изменению силы тока. Рабочая температура в регулируемом диапазоне составляет 750°C . Из-за очень низкого сопротивления нагревательного элемента рабочая температура зонда достигается через 15 секунд. Принципиальная схема LSU-зонда изображена на рис. 7.6.

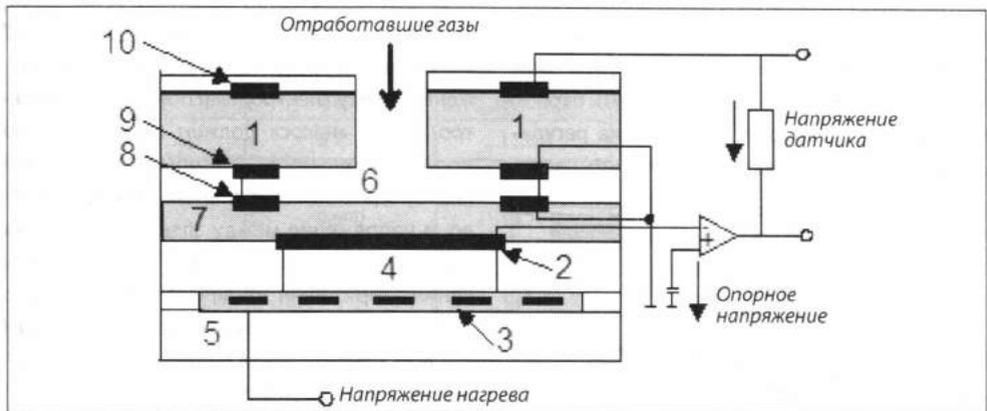


Рис. 7.6. LSU-зонд

1. Электролизный «насос» (ZrO_2)
2. Платиновые электроды опорной ячейки
3. Нагревательный элемент
4. Эталонный зазор
5. Керамика из ZrO_2
6. Измерительный зазор (диффузионный зазор, 10 - 50 мкм)
7. Опорная ячейка (измерительная ячейка, ZrO_2)
8. Платиновые электроды опорной ячейки
- 9,10. Платиновые электроды электролизного «насоса»

В отличие от зонда с релейной характеристикой напряжение на электродах поддерживается постоянным. Это реализуется с помощью так называемого электролизного «насоса», подающего на электрод со стороны ОГ столько кислорода, чтобы напряжение между электродами всегда составляло 450 мВ. Это соответствует значению $\lambda = 1$ в измерительном зазоре. Потребляемый «насосом» ток пересчитывается электронным блоком управления двигателем в значение лямбда. Зонд можно заменять только в комплекте с кабелем и разъемом, так как все компоненты согласованы между собой. Разъемы нужно обязательно защищать от загрязнения, так как через них наружный воздух как эталонный газ подается внутрь датчика. Существуют 6-контактные (Bosch) и 5-контактные (NTK) варианты.

Функция зонда

Протекание сигнала у широкополосного зонда изображено на рис. 7.7. В результате подачи напряжения на платиновые электроды электролизного «насоса» кислород перекачивается из ОГ или в ОГ через диффузионный барьер диффузионного зазора. Электроника регулирует напряжение таким образом, что состав

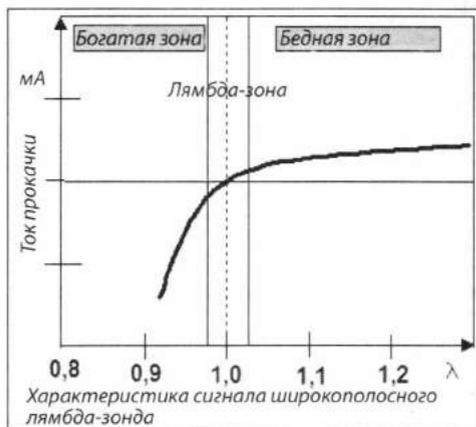


Рис. 7.7. Характеристика сигнала LSU-зонда

смеси в диффузионном зазоре составляет $\lambda = 1$ (450 мВ). Протекающий через электроды электролизного «насоса» ток прямо пропорционален концентрации кислорода в ОГ.

При обеднении топливоздушной смеси содержание кислорода в ОГ повышается, и электролизный «насос» должен откачивать кислород наружу. Соотношение кислорода к наружному воздуху изменяется при постоянной мощности насоса, и напряжение между электродами падает. Чтобы достичь напряжения в 450 мВ между электродами, нужно уменьшить концентрацию кислорода на стороне выпуска. Мощность «насоса» изменяется, и блок управления двигателем пересчитывает потребляемый «насосом» ток в значение лямбда. Состав смеси соответствующим образом изменяется.

При обогащении топливоздушной смеси содержание кислорода в ОГ снижается, и электролизный «насос» закачивает меньше кислорода в область измерения. Направление тока меняется на обратное, и кислород выкачивается в измерительный зазор из ОГ и из реакции превращения CO_2 и H_2O . Напряжение между электродами повышается. Электролизный «насос» должен изменить свою производительность, чтобы содержание кислорода в измерительной камере выросло, и напряжение между электродами снова составило 450 мВ. В таблице 7.1 показаны значения напряжения зонда с соответствующим значением λ у различных типов топлива. Эти значения могут слегка различаться у отдельных автопроизводителей.

7.4. Датчик оксидов азота или двухкамерный датчик

Двухкамерные датчики (рис. 7.8) служат для того, чтобы распознавать концентра-

цию оксидов азота в выхлопе и передавать измеренные значения для восстановления катализаторов оксидов азота. Различные изготовители используют накопительные катализаторы, удерживающие NO_x до тех пор, пока не заполнится накопитель. Когда накопитель «заполняется», система управления двигателем обогащает топливовоздушную смесь. Более высокая доля топлива приводит к увеличению концентрации CH , CO и H_2 в выхлопе. Газы обеспечивают преобразование оксидов азота в накопительном катализаторе в безопасные N_2 , H_2O и CO_2 .

Для этого требуется два датчика: традиционный лямбда-зонд для определения концентрации кислорода в выхлопе перед нако-

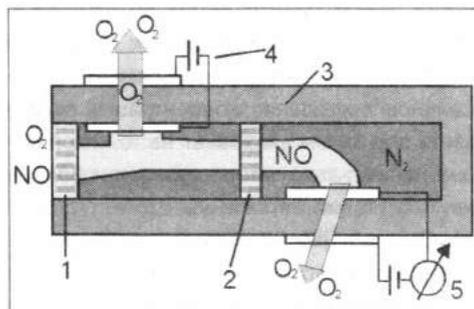


Рис. 7.8. Принцип работы двухкамерного датчика

1. Барьер 1
2. Барьер 2
3. Твердый электролит
4. Подача напряжения для удаления O_2
5. Ток, пропорциональный NO_x

Таблица 7.1. Значения напряжения и параметры смеси LSU-зонда

Напряжение зонда, В	Значение лямбда	Параметры смеси, кг воздуха на кг топлива		
		Бензин	Дизель	Сжиженный газ
1,40	0,686	10,08	9,94	10,63
1,50	0,706	10,38	10,24	10,94
1,60	0,727	10,69	10,54	11,27
1,70	0,750	11,03	10,88	11,63
1,80	0,774	11,38	11,23	12,00
1,90	0,800	11,76	11,60	12,40
2,00	0,828	12,17	12,00	13,83
2,10	0,857	12,60	12,43	13,29
2,20	0,889	13,07	12,89	13,78
2,30	0,923	13,57	13,39	140,31
2,40	0,960	14,11	13,92	14,88
2,50	1,000	14,70	14,50	15,50
2,60	1,078	15,84	15,62	16,70
2,70	1,169	17,18	16,95	18,11
2,80	1,276	18,76	18,50	19,78
2,90	1,405	20,66	20,38	21,78
4,00	Лямбда стремится к бесконечности, чистый воздух			

питательным катализатором и двухкамерный датчик после катализатора для измерения значения λ и концентрации оксидов азота. Сильное повышение концентрации оксида азота в выхлопе указывает на то, что накопительный катализатор заполнен и больше не может принимать оксиды азота.

Содержащаяся в ОГ смесь из NO_x и O_2 после катализатора проходит систему из двух камер. Поскольку кислород отрицательно сказывается на измерении концентрации NO_x , нужно сначала удалить кислород. Это достигается путем подачи напряжения на первую камеру. Напряжение разлагает молекулы кислорода на ионы, которые вытесняют полупроводниковый электролит из оксида циркония. Во второй камере остающийся оксид азота электрически расщепляется на N_2 и O_2 . При этом протекает ток, пропорциональный концентрации NO_x в выхлопе. Точность измерения составляет порядка 100 промилле. Поскольку накапливающая способность катализатора известна, то можно определить момент, при котором необходимо начать восстановление катализатора.

7.5. Диагностика лямбда-зондов

Лямбда-зонды можно визуально проверить на предмет механических повреждений и отложений. Типичные визуально определяемые неисправности:

- сильно закопченная защитная труба (рис. 7.9). Двигатель работает на слишком богатой смеси. Зонд следует заменить и устранить причину образования слишком богатой смеси;
- белые или светло-серые отложения на защитной трубе (рис. 7.10). Двигатель сжигает масло и топливные присадки. Зонд следует заменить и устранить причину сгорания масла;
- механические повреждения из-за неправильного монтажа. Неправильный монтаж может стать причиной таких повреждений лямбда-зонда, что не будет обеспечиваться его нормальная работа. При монтаже нужно использовать рекомендованный специнструмент и, особенно, соблюдать предписанный момент затяжки;



Рис. 7.9. Зонд закопчен



Рис. 7.10. Зонд замазлен

□ повреждения из-за свинца сегодня не могут возникнуть, так как этилированное топливо не продается.

Однако важнее анализа механических повреждений является знание сигналов лямбда-зондов. Интерпретировать сигналы можно путем их записи с помощью осциллографа. На основании характеристики сигнала можно сделать выводы о состоянии старения зонда. В ЭБУ записываются номинальные значения регулировочных характеристик зондов. Управляющая электроника в рамках внутренней проверки правдоподобности сравнивает фактические значения сигналов с заданными. При запуске двигателя все старые значения зонда удаляются из ЭБУ. Во время движения в заданном для диагностики диапазоне нагрузок и оборотов формируются минимальные и максимальные значения регулирующих процессов.

Новый лямбда-зонд выдает на осциллографе изображенную на рис. 7.11 характеристику сигнала. Отклонения в сторону богатой и бедной смесей примерно одинаковы. Время реакции «бедная-богатая» и «богатая-бедная» составляет 300–500 миллисекунд. Неисправные зонды выдают почти постоянную характеристику сигнала. Типичными неисправностями являются механические повреждения, слишком большой уровень или низкое качество масла. У автомобилей с OBD в этом случае в память записывается неисправность.

У изношенных или старых лямбда-зондов (рис. 7.12) амплитуда регулирования становится все меньше. Заданные значения напряжения больше не достигаются. Точное распознавание слишком богатой или слишком бедной смеси невозможно. Контур лямбда-регулирования не может выполнять свою функцию. У автомобилей с OBD в этом случае в память записывается неисправность.

У старых лямбда-зондов (рис. 7.13) может значительно замедлиться реакция на изменения состава смеси. Текущий состав смеси определяется неточно. Система слишком инертно реагирует на необходимость обогащения или обеднения смеси. При превышении заданной предельной длительности распространения сигнала у автомобилей с системами OBD, в память записывается сбой.

У старых лямбда-зондов слишком долго может длиться и частота регулирующих процессов (рис. 7.14). Время на полное регулирование (период) слишком велико, из-за чего необходимая реакция на изменения состава смеси оказывается недостаточно быстрой. Зонд слишком долго пребывает в диапазоне бедной или богатой смеси. В этом случае у автомобилей с OBD также в память записывается неисправность.

При всех проверках лямбда-зондов нужно обязательно соблюдать инструкции изготовителя. При замене зондов должны со-

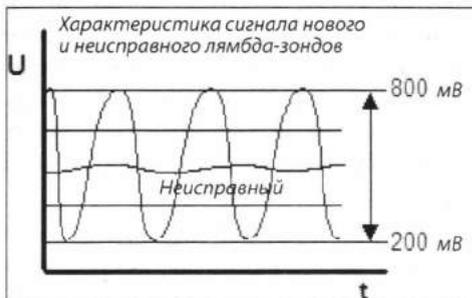


Рис. 7.11. Зонд вышел из строя



Рис. 7.12. Ошибка амплитуды

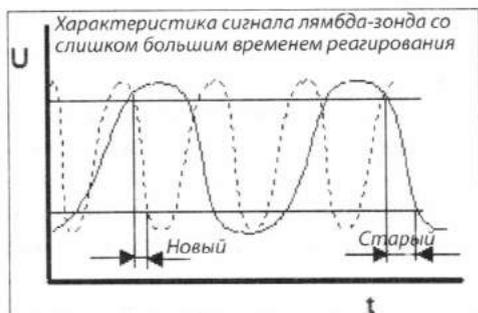


Рис. 7.13. Ошибка времени реагирования

блюдаться моменты затяжки (в зависимости от изготовителя в основном 40–60 Н·м). При превышении момента затяжки может произойти механическое разрушение керамических элементов зонда. Точная проверка работоспособности лямбда-зонда посредством возмущающего воздействия и проверки контура регулировки не всегда возможна. При проверке контура регулировки возникает опасность того, что при неисправном лямбда-регулировании современные системы управления двигателями так быстро и точно регулируют топливоздушную смесь путем точного определения нагрузки, что всегда достигается значение лямбда, равное 1.

Если измерение проводится мультиметром, то следует установить диапазон измерений 1 или 2 В. После запуска двигателя отображается значение 0,4–0,6 В, что соответствует опорному напряжению. Когда лямбда-зонд нагревается до рабочей температуры (двигатель тоже должен быть прогрет до рабочей температуры), напряжение начинает колебаться в диапазоне 0,1–0,9 В. Для измерения следует использовать только высокоомные аналоговые или цифровые мультиметры.

С помощью систем диагностики двигателей, имеющих функцию осциллографа, можно записывать характеристики сигналов зондов и использовать их для диагности-

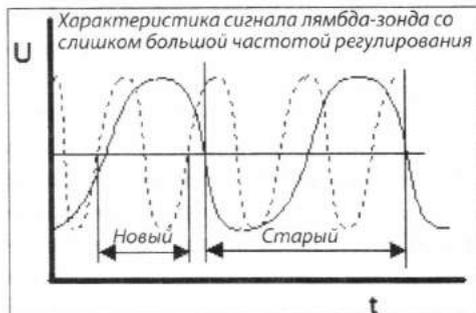


Рис. 7.14. Ошибка частоты регулирования

ки неисправностей. При ручной настройке на осциллографе следует выбирать диапазон напряжения 1–5 В и время 1–2 с. При проверке зондов из диоксида титана на дисплее отображается синусоидальное напряжение переменного тока. В характеристике сигнала можно оценивать три параметра: размах амплитуды в диапазоне напряжения максимум 0,9 В и минимум 0,1 В, время реакции и длительность периода в диапазоне частот 0,5–4 Гц, т.е. 0,5–4 раза в секунду. Обороты коленчатого вала двигателя при измерении в обоих случаях должны составлять 2000–2500 мин⁻¹.

При оценке нагрева можно проверить внутреннее сопротивление и электропитание нагревательного элемента. Для этого нужно отсоединить разъем лямбда-зонда. Затем со стороны лямбда-зонда омметром измеряется сопротивление на обоих проводах нагревательного элемента. Оно должно составлять 2–14 Ом. Если сопротивление превышает 30 Ом, значит нагревательный элемент неисправен. Со стороны жгута проводов автомобиля можно вольтметром измерить напряжение. Оно должно составлять более 10,5 В. В таблице 7.2 показаны различные возможности подключения лямбда-зондов.

В рамках OBD происходит дальнейшая интерпретация характеристики сигнала лямбда-зонда при контроле функции катализатора. Путем сравнения характеристик

сигнала управляющего и диагностического зондов можно сделать выводы об эффективности катализатора (см. главу 9).

У V-образных и оппозитных двигателей с двухпоточной системой выпуска ОГ используется как минимум два лямбда-зонда. У каждого ряда цилиндров есть свой собственный контур регулировки состава смеси. Однако и у более крупных рядных двигателей для отдельных пар цилиндров устанавливается по одному лямбда-зонду (например для цилиндров 1–3 и 4–6). В новых системах

с селективной (в отдельных цилиндрах) регулировкой смеси сигналы лямбда-зондов привязываются к сигналам зажигания. Регулирующая электроника на основе сигналов зонда может сделать выводы о составе смеси в предыдущем цилиндре и выполнить корректировки образования смеси и ее сгорания в следующем цилиндре. Для этого в современных 8-и 12-цилиндровых двигателях используется до четырех обогреваемых зондов, устанавливаемых перед катализатором, и столько же — за катализатором.

Таблица 7.2. Разъемы лямбда-зондов (см. инструкции изготовителя)

Тип зонда	Количество проводов	Цвет провода	Подключение
Необогреваемые зонды	1	Черный	Сигнал (масса через корпус)
	2	Черный Серый	Сигнал Масса
Обогреваемые зонды	3	Черный 2 × Белый	Сигнал (масса через корпус) Обогрев
	4	Черный 2 × Белый Серый	Сигнал Обогрев Масса
Зонд с диоксидом титана	Тип I 4	Красный Белый Черный Желтый	Обогрев, плюс Обогрев, минус Сигнал, минус Сигнал, плюс
	Тип II 4	Серый Белый Черный Желтый	Обогрев, плюс Обогрев, минус Сигнал, минус Сигнал, плюс
Широкополосный зонд	Bosch 6	Черный Зеленый Серый Белый Желтый Красный	Опорный минус Сигнал, минус Обогрев, плюс Обогрев, минус Опорный плюс Сигнал, плюс

8. СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ЧАСТИЦ

Для уменьшения выброса частиц у дизельных двигателей в качестве внешних мер в настоящее время используются только системы фильтрации. Объем сажевого фильтра примерно в 1,5–2,5 раза больше рабочего объема двигателя. В качестве фильтрующего материала используются кордиерит (карбид кремния — вспененная керамика), титанат алюминия, карбид кремния, специальная металлическая пена или материалы на основе металлического порошка. Плотность ячеек материала фильтра в зависимости от типа фильтра составляет 230–300 cpsi (ячеек на квадратный дюйм). На рис. 8.1 показано два варианта сажевых фильтров. Самой оптимальной геометрической формой для равномерного распределения частиц в фильтре оказалась круглая форма. Вредные вещества CO , CH , NO_x и SO_x не преобразуются системой фильтрации. Для их преобразования требу-

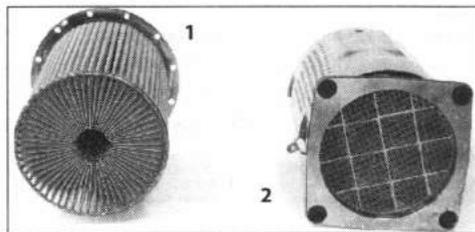


Рис. 8.1. Варианты исполнения сажевого фильтра: 1 — фильтрующий материал из порошкового сплава, 2 — керамический фильтрующий материал

ются катализаторы. Принципиальная схема и принцип работы систем фильтрации для легковых и грузовых автомобилей описана в других разделах. В обиходе используется понятие «сажевый фильтр», хотя с точки зрения физики и химии сгорания делается различие между сажей и частицами. Принципы действия катализатора и сажевого фильтра совершенно разные, хотя у некоторых новых систем необходимо согласованная совместная работа обеих систем.

Частицы — это мелкие, размером около 0,0001 мм, твердые компоненты ОГ, состоящие из чистого углерода и отложившихся на них органических и неорганических продуктов сгорания. Углерод химически очень инертен (можете попробовать поджечь кусок угля спичкой) и очень долго горит; как правило, в двигателе нет условий для длительного сгорания. Компоненты сажи и частицы необходимо отфильтровать из ОГ и затем сжечь. Для сжигания частиц требуется температура более 600°C. Отработавшие газы дизельного двигателя при обычных условиях почти не достигают этой температуры. На рис. 8.2 и 8.3 показаны диапазоны восстановления сажевых фильтров с применением дополнительных восстановительных средств и без них. Необходимо либо искусственно увеличить температуру ОГ, либо снизить температуру сгорания частиц. Зачастую имеет смысл сочетание этих двух путей.

Основные направления оптимизации систем фильтрации:

- обеспечение степени фильтрования частиц до 99% во всех диапазонах нагрузок и оборотов;
- оптимизация длины фильтра и формы канала;
- оптимизация покрытия фильтра;
- обеспечение высокой аккумулирующей способности;
- обеспечение низкого давления ОГ даже в состоянии нагрузки;
- недопущение роста расхода топлива из-за использования фильтра;
- обеспечение простоты и скорости восстановления системы фильтрации;
- достижение длительного срока службы до первого восстановления;
- обеспечение хорошей термостойкости и стойкости к коррозии;
- достижение достаточной восстанавливаемости даже при низкой температуре ОГ.

8.1. Системы фильтрации частиц для дизельных двигателей легковых автомобилей

Для фильтрации частиц используется, к примеру, высокопористый керамический блок, как и у катализаторов (рис. 8.4 и 8.5), с множеством прямоугольных каналов с закрытыми концами. Из-за того, что каналы закрыты, ОГ попадают в «ловушку» и должны пройти через пористый керамический материал. Размер пор керамического материала составляет менее 0,0001 мм и меньше размера частиц. Частицы не могут пройти через материал фильтра. Они налипают на материал фильтра и до 99% частиц откладывается на поверхности керамического материала.



Рис. 8.2. Диапазон восстановления сажевого фильтра без применения дополнительных восстановительных средств

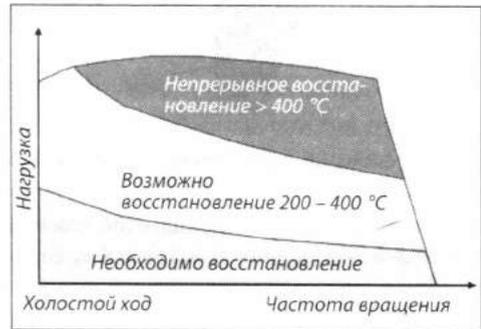


Рис. 8.3. Диапазон восстановления сажевого фильтра с применением дополнительных восстановительных средств

В некоторых системах поверхность фильтра дополнительно покрывается оксидами металлов или платиной, чтобы снизить температуру сгорания частиц. Температуру воспламенения частиц можно таким образом снизить примерно до 250°C. Добавление специальных присадок (FBC = Fuel Borne Catalyst) в топливо позволяет получить те же эффекты снижения температуры сгорания.

Основной проблемой сажевых фильтров является их ограниченная поглощающая способность. Достаточно проблематично гарантировать долгий срок службы. Из-за отложения частиц на материале фильтра он относительно

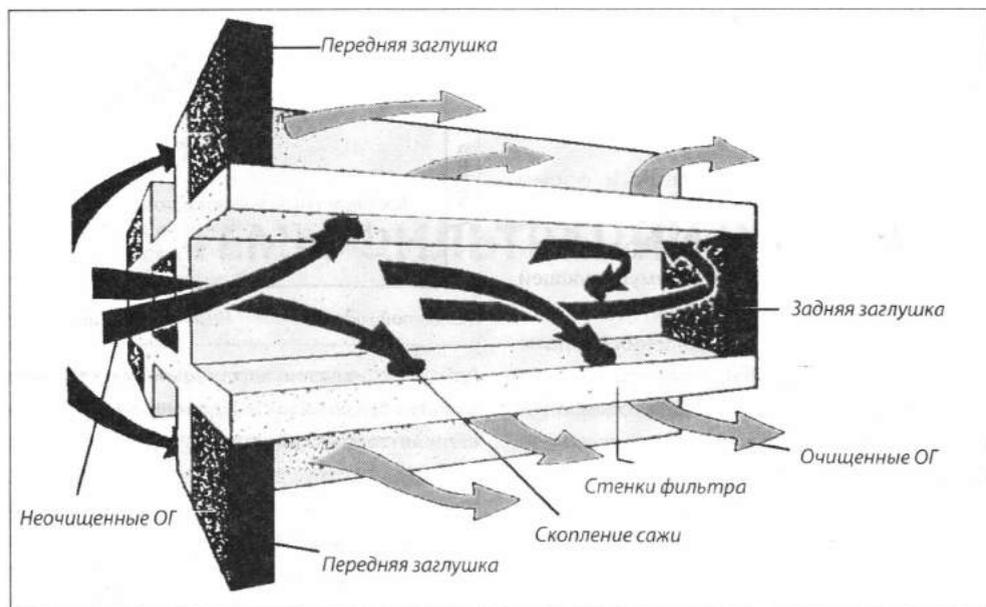


Рис. 8.4. Схема системы фильтрации частиц в легковом автомобиле

быстро засоряется. Поглощающая способность фильтра — еще одна проблема для срока службы фильтра. В результате существенно возрастает противодавление ОГ и расход топлива, а эффективность фильтра падает. Группа PSA (Peugeot и Citroën) первыми в мире успешно решили эти проблемы при серийной установке сажевых фильтров в легковых автомобилях.

Наряду с различными мерами по организации процесса сгорания в двигателе, связанными с уменьшением выбросов частиц, различают два варианта систем фильтрации частиц — системы с добавкой присадок (FBC) и без таковой. «Степень засорения» у всех систем определяется через измерение разности давления перед и за сажевым фильтром. Для серийного выпуска используются, как правило, закрытые системы. Каждая система фильтрации по истечении определенного периода должна прожигаться с помощью восстановительных мер. На рис. 8.6 показан типичный ход заполнения и результирующей

рост противодавления системы фильтрации частиц.

Системы с добавкой присадок (FBC)

В этих системах в топливо добавляется специальная присадка, понижающая температуру сгорания отфильтрованных частиц до 400 °С. Концерн Peugeot сначала использовал присадку на базе цероксидов, а в новых системах — на базе оксида железа, под названием Eolys. VW/Audi используют присадку на базе оксида железа под названием Satacen 25.

Системы без присадок

Эти системы работают многократно с каталитическим покрытием поверхности фильтра. Для повышения температуры ОГ в фазе восстановления необходимы масштабные вмешательства электроники управления дизельным двигателем и частично комбинирование сажевого фильтра с окислительным катализатором.

8.1.1. Сажевый фильтр FAP от Peugeot

Концерн Peugeot в своих двигателях HDI (рис. 8.7 и 8.8) использует сочетание окислительного катализатора и сажевого фильтра. Этот фильтр называется FAP (*Filtre à Particules*) и состоит из карбида кремния. Двигатель работает с системой Common Rail. Автоматически запускаемое восстановление сажевого фильтра в зависимости от режима эксплуатации выполняется каждые 500–800 км пробега. Восстановление происходит при высокой температуре ОГ (например, длительная езда с полной нагрузкой). Фаза восстановления в зависимости от системы длится 3–5 минут. Установленный на фильтре датчик давления подает сигналы об изменении противодавления ОГ. Он контролирует «степень засорения» фильтра. При превышении определенных заданных значений управляющая электроника запускает цикл принудительного восстановления.

С помощью целенаправленного дополнительного впрыска в выпускной тракт температура ОГ повышается до 400–450 °С. Так создаются благоприятные условия для дожигания отложившихся частиц. Дополнительно при каждой заправке топливом в бак впрыскивается присадка из отдельного бачка. Присадка действует как растворимый ка-

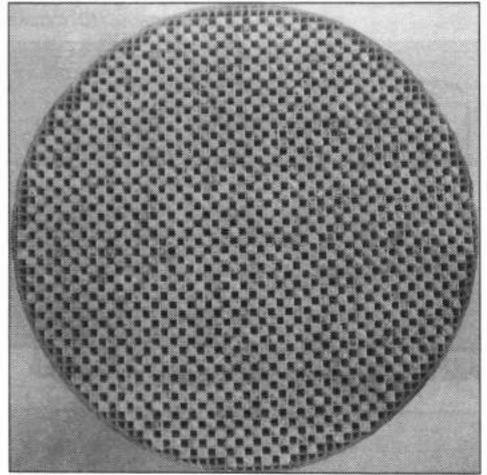


Рис. 8.5. Сажевый фильтр

тализатор. С момента внедрения фильтров до сих пор использовались три поколения FBC. Разные поколения присадок нельзя смешивать между собой или использовать для другой, не разрешенной системы.

В таблице 8.1 показана динамика важнейших параметров дизельных присадок. Соотношение присадки и дизельного топлива остается постоянным независимо от расхода топлива (около 16,5 мл присадки Eolus на 60 л дизтоплива). Присадка понижает температуру сгорания частиц. Присадка берется

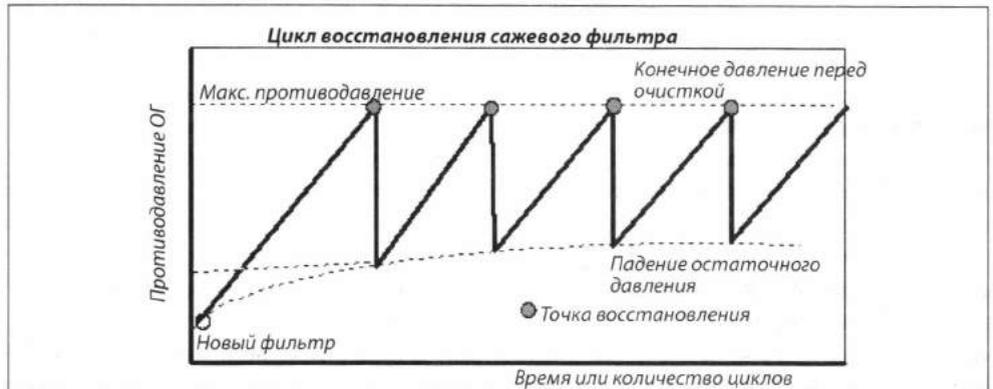


Рис. 8.6. Потери давления на протяжении циклов заполнения и восстановления

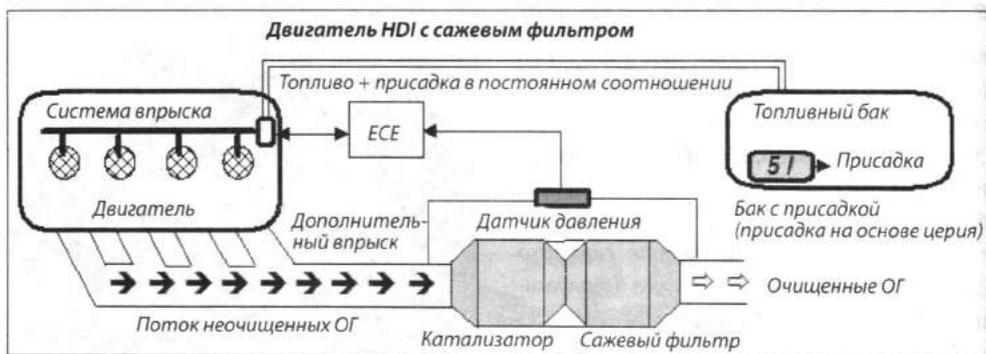


Рис. 8.7. Принципиальная схема системы FAP

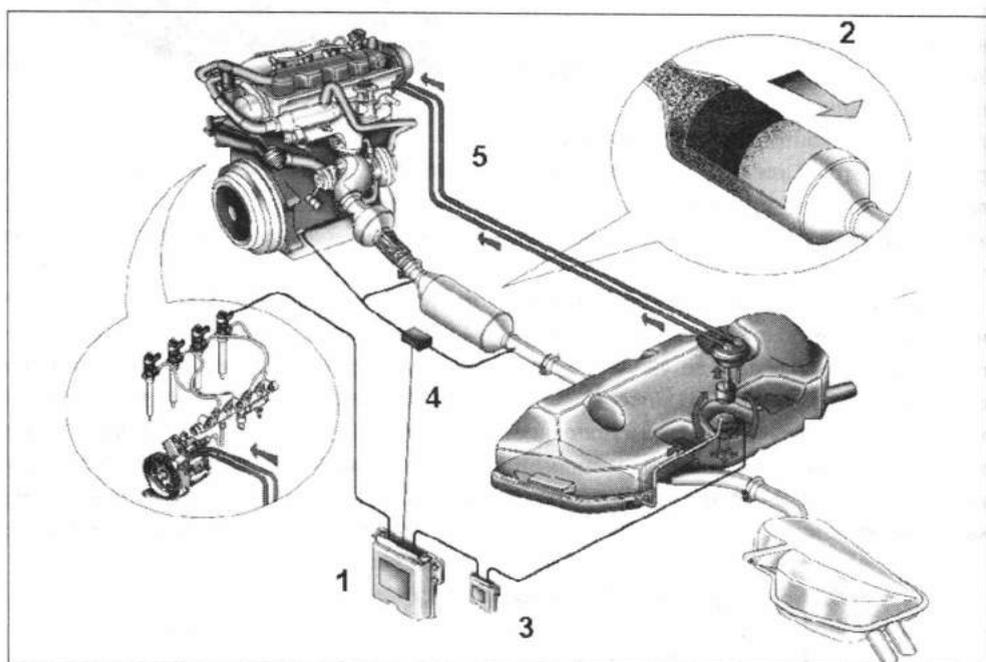


Рис. 8.8. Детали системы FAP

1. Блок управления двигателем
2. Пусковой катализатор ОГ и сажевый фильтр
3. ЭБУ для присадки
4. Датчики давления
5. Система впрыска

из дополнительного бака и по мере расходования доливае­тся в рамках ТО. Одной заправки хватает на 240 000 км (у первого поколения — 80 000 км). Повышение запаса хода было достигнуто за счет совершенствования

присадки и оптимизаций в двигателе, системах впрыска и фильтрации.

Тем не менее, на поверхности фильтра остаются остатки золы (церина — неорганического негорючего материала) присадки

Таблица 8.1. Сравнение параметров разных поколений присадок

Поколение Eolys	1-е поколение DPX9	2-е поколение DPX10	3-е поколение DPX13
Активный материал	Цероксид	Цероксид / оксид железа	Оксид железа
Концентрация (вес чистого металла), %	4,2	6,5	10
Дозировка металла, ppm	25	10 – 12	7
Температура активации, °C	460	410	400
Время восстановления при средней нагрузке, с	1600	210	175
Макс. температура при загрузке 8 г/л, °C	700	750	750
Количество присадки на 160 000 км пробега, л	7	3	1,1
Интервал обслуживания, км	80 000	120 000 – 150 000	250 000
Количество сажи после 250 000 км пробега, г	644	270	210

и моторного масла. В результате, несмотря на восстановление частиц, постепенно возрастает противодавление ОГ. Это снижает мощность двигателя. Церин слоями откладывается на каналах фильтра или его дне. Отрабатывшие газы могут лишь частично пройти через каналы с большим сопротивлением. Дифференциальное давление повышается. Сажевый фильтр заменяется в рамках регламентированных ТО. Одновременно доливаются присадка Eolys. Преимущество этой системы в том, что она может работать с обычным дизельным топливом. Поскольку катализатор DeNO_x не используется, степень рециркуляции ОГ составляет около 60%.

Замена фильтра и доливание присадки могут производиться только на специализированных СТО со специальными системами диагностики. Восстановление фильтров производится промышленным способом.

8.1.2. Сажевый фильтр Bosch

Сажевый фильтр Bosch (рис. 8.9) изготовлен из специального металлического порошка

и по сравнению с уже известными керамическими решениями имеет значительно более длительный срок службы. Благодаря своей особой структуре он имеет большую аккумулирующую способность по присадочной и масляной саже. Фильтр устроен таким образом, что отфильтрованные частицы откладываются очень равномерно, из-за чего заполнение фильтра надежно распознается и управление его восстановлением выполняется оптимально. Для этого пористый металлический материал получил форму клинообразных карманов. Сажевый фильтр рассчитан на срок службы автомобиля.

Если накопительная способность сажевого фильтра исчерпана, то его необходимо восстановить горячими отработавшими газами. Для достижения необходимой высокой температуры ОГ электроника управления двигателем корректирует подаваемую в двигатель воздушную массу, а также объем и момент впрыска. Кроме того, в сочетании с окислительным катализатором в расширительный тракт можно подавать несгоревшее топливо

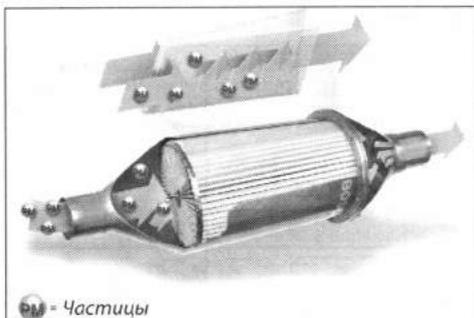


Рис. 8.9. Сажевый фильтр Bosch [источник: Bosch]

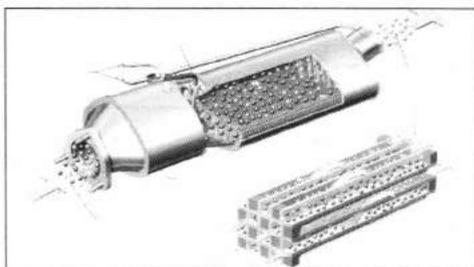


Рис. 8.10. Сажевый фильтр CSF непрерывного действия [источник: Audi]

путем дополнительного впрыска. Топливо сгорает в окислительном катализаторе и дополнительно повышает температуру ОГ. Наряду с этим дополнительным впрыском в камеру сгорания можно также использовать непосредственный впрыск топлива в выпускной тракт для повышения температуры ОГ.

8.1.3. Системы фильтрации частиц у VW и Audi

В так называемом «Catalysed Soot Filter» (CSF — фильтр с каталитическим покрытием) используется покрытие с содержанием благородных металлов (рис. 8.10) с двойным действием.

При пассивном восстановлении происходит медленное и щадящее превращение отложившейся в фильтре сажи в CO_2 . Этот процесс происходит в диапазоне температур 350–500 °C и протекает без применения дополни-

тельных мер. При длительной эксплуатации с небольшой нагрузкой или недостаточными условиями восстановления каждые 1000–1200 км происходит активное повышение температуры ОГ до 600 °C, обеспечивающее дополнительное восстановление фильтра.

Для повышения температуры ОГ выполняется следующее:

- целенаправленный дополнительный впрыск в выпускной тракт;
- обогащение смеси и смещение момента впрыска на более поздний;
- регулирование давления наддува и дросселирование всасывания воздуха;
- изменение скорости рециркуляции ОГ.

Сажевый фильтр VW с присадкой

В некоторых моделях двигателей серии 2.0 TDI используется присадка «Satacen 25» на основе оксида железа для превращения отложившихся в фильтре частиц. Эта присадка находится в отдельном бачке под запасным колесом и подмешивается к топливу в баке. Это происходит с помощью насоса, управляемого электроникой. Блок управления двигателем по сигналу датчика в топливном баке определяет объем залитого топлива. При каждой заправке в дизтопливо автоматически подмешиваются небольшие (около 10 промилле) количества оксида железа через возвратный топливopровод. Это соответствует одному литру присадки на 2800 л топлива.

Сам фильтр устанавливается вместо переднего глушителя под днищем. В его корпусе из нержавеющей стали имеется фильтр-блок из карбида кремния (Si - SiC) с попеременно расположенными впускными и выпускными каналами. Каналы являются для частиц «тупиками». Только газообразные компоненты ОГ могут просачиваться через пористую керамическую стенку в соседний выпускной канал.

Обычно восстановление в этой системе начинается при 600 °C. При частом движении

с полной нагрузкой достижение этой температуры, как правило, не представляет никакой проблемы. В диапазоне частичной нагрузки или при частых поездках на короткие расстояния эта температура не достигается. Путем использования присадки температура сгорания сажи снижается до 350 °С. Степень засорения контролируется датчиком дифференциального давления. Если необходимая температура не будет достигнута в течение длительного времени (например, в случае поездок на очень короткие расстояния), система посредством контрольной лампы просигнализирует необходимость движения в течение 10 минут со скоростью не менее 60 км/ч для обеспечения восстановления фильтра. Запас присадки составляет 4,5 л и его хватает в зависимости от манеры езды на 90 000–120 000 км. После этого фильтр нужно заменить и восполнить запас присадки.

8.1.4. Сажевый фильтр от BMW

Конструкция фильтра BMW схожа с конструкцией фильтра Audi. Фильтр не требует обслуживания и рассчитан на длительный срок службы. Содержащий платину каталитический слой фильтра и специально настроенная электроника двигателя избавляют от необходимости использовать присадку. Благодаря каталитическому слою определенная доля частиц постоянно сгорает. Таким образом, по сравнению с присадочными системами значительно увеличивается срок службы до восстановления.

Из-за отсутствия присадки в фильтре оседает лишь небольшое количество золы от сгоревшего масла. Через сажевый фильтр содержащиеся в ОГ частицы всех фракций отфильтровываются с высокой степенью эффективности — более 95 %. Фильтр большого объема (4,5 л) в сочетании с небольшими сырыми выбросами в зависимости от режи-

ма движения обеспечивает интервал восстановления до 2000 км.

Для надежной эксплуатации сажевого фильтра необходима сложная система управления восстановлением через блок управления двигателем. Так, например, выбросы сажи из двигателя можно регулировать и корректировать с помощью различных факторов. Корректировки зависят от температуры ОГ перед катализатором и фильтром и от текущего объемного расхода ОГ в системе выпуска. При восстановлении фильтра контролируются заполнение фильтра сажей, постоянное преобразование и сжигание сажи. Необходимая для запуска восстановления масса сажи зависит от текущего режима езды. Такая температура ОГ легко достигается при высоких оборотах и скорости движения. Эта стратегия восстановления позволяет значительно снизить вероятность возникновения необходимости восстановления фильтра у среднестатистического автомобиля при экстремальной езде по городу.

Чтобы регулярно очищать фильтр независимо от степени его заполнения и компенсировать степень заполнения, восстановление выполняется в любом случае после определенного пробега (в зависимости от манеры езды, 700–2500 км) и при достижении определенного расхода топлива. Необходимая для восстановления температура (около 620 °С) в зависимости от режима работы двигателя достигается за счет различных мер по регулированию подачи воздуха и впрыска топлива.

Гибкость системы CRS при отрегулированном моменте основного впрыска позволяет выполнять до двух дополнительных впрысков для повышения температуры ОГ. Распределение количества топлива между двумя дополнительными впрысками определяется допустимым разжижением

масла и максимально допустимым повышением крутящего момента при сгорании.

Дросселирование всасываемого воздуха, в сочетании с понижением давления наддува, также способствует повышению температуры. В фазе восстановления масса свежего воздуха при выключенном клапане рециркуляции ОГ регулируется дроссельной заслонкой.

Для достижения необходимой для восстановления температуры ОГ, независимо от окружающих условий она регулируется двухступенчатым регулятором системы управления двигателем. Регулятор вмешивается в оба дополнительных впрыска, при этом задающей величиной этого регулирующего контура является температура ОГ перед катализатором. Задача другого регулирующего контура — обеспечение необходимой температуры перед фильтром с целью минимизации нагрузки на детали катализатора и системы выпуска ОГ. В качестве регулирующей переменной используется количество топлива в дополнительном впрыске.

Все датчики системы электрически контролируются в рамках OBD, также проверяется правдоподобность их сигналов. Если восстановление в режиме движения невозможно из-за эксплуатации с крайне низкой нагрузкой, то активируется аварийная программа и загорается сигнальная лампа.

Водитель получает сообщение от системы Check Control. Принудительное восстановление возможно только на СТО со специальными программами диагностики.

Обзор функций восстановления

1. Непрерывное при температуре ОГ 350°C или циклическое при температуре ОГ 600°C.
2. Повышение температуры ОГ системой управления двигателем.

Два дополнительных впрыска, обеспечивающих сгорание СН в катализаторе и повышающих температуру в сажевом фильтре. Дополнительное дросселирование всасываемого воздуха дроссельной заслонкой и уменьшение давления наддува. У автомобилей с АКПП также корректируется характеристика переключения передач.

8.1.5. Катализатор D-CAT от Toyota

Система D-CAT (Diesel Clean Advanced Technologies) (рис. 8.11) представляет собой сочетание различных мер по организации процесса сгорания в двигателе и специально накопительного катализатора DPNR (Diesel Particulate NO_x Reduction) в системе выпуска ОГ. Особенность системы состоит в одновременном уменьшении выбросов частиц и оксидов азота без обслуживания в течение всего срока службы и без добавки присадок. Катализатор состоит из кордиерита с покрытием

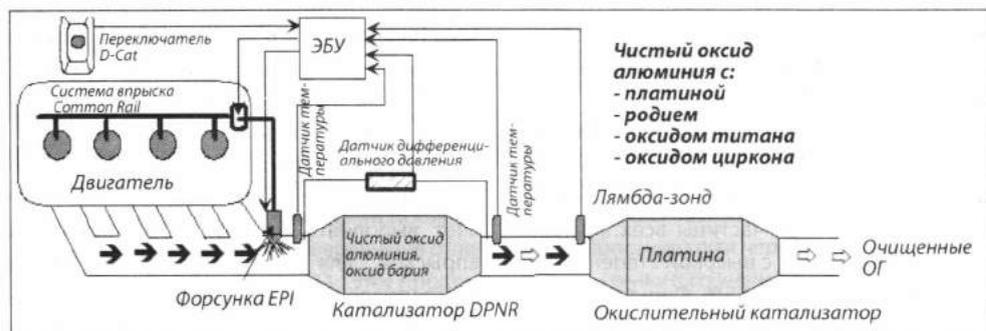


Рис. 8.11. Система D-CAT от Toyota

из платины и материала для аккумуляции NO_x — оксида бария. Форма каналов в монолите отличается от стандартной — шестиугольная. Дополнительные элементы покрытия из оксида титана, родия и оксида циркония служат для образования водорода в целях уменьшения концентрации оксидов серы.

«Сердцем» системы D-CAT является DPNR-катализатор и система Common Rail второго поколения с пьезофорсунками и давлением впрыска 1800 бар. Форсунки имеют десять отверстий диаметром всего по 0,13 мм. Система обеспечивает исключительно короткий интервал между концом предварительного впрыска и началом основного — 0,1 мс. Возможно до пяти впрысков на один такт сжигания. Впрыск непосредственно перед основным впрыском уменьшает содержание азота и снижает уровень шума при сгорании. Впрыск сразу за основным впрыском сжигает остатки частиц.

Особенностью системы является впрыск в выпускной канал. Для этого в выпускном канале устанавливается дополнительная форсунка EPI (EPI — Exhaust Port Injector), дополнительно впрыскивающая топливо в выпускной канал за коллектором под давлением около 10 бар. Достижимое в результате этого краткосрочное обогащение смеси позволяет высвободить и восстановить накопленные в катализаторе оксиды азота. Одновременно с этим обеспечивается нагрев катализатора, предотвращающий его отравление содержащейся в топливе серой. Впрыск топлива гарантирует достаточно высокие температуры для преобразования вредных веществ в катализаторе, несмотря на низкую температуру сгорания. При соответствующем заполнении фильтра сажей температура ОГ путем впрыска топлива повышается примерно до 600 °C, и отложившиеся частицы сгорают.

Рециркуляция ОГ в системе D-CAT — с охлаждением, что позволяет достичь высокой

степени очистки ОГ. Одновременно снижаются температуры сгорания. Низкая температура сгорания предотвращает образование дыма и уменьшает выбросы оксидов азота. Кроме того, низкая температура сгорания гарантирует работу катализатора с высоким КПД в оптимальном температурном диапазоне. Концерн Toyota называет эту технологию аббревиатурой LTC (Low Temperature Combustion — сгорание при низкой температуре). Сложная система управления позволяет корректировать работу ЭБУ двигателя и в самом двигателе и со стороны ОГ. В нижнем диапазоне нагрузок низкотемпературного сгорания двигатель работает с почти стехиометрическим коэффициентом избытка воздуха.

Степень сжатия у современных дизельных двигателей не очень велика. Это позволяет получить медленный рост давления и небольшое пиковое давление. Сгорание становится тише, и снижаются выбросы оксидов азота. Особая технология впрыска для корректировки его картины (Uniform Bulky Combustion System) обеспечивает быстрое сгорание при низких температурах. При этом впрыск топлива разбивается на несколько этапов. Сначала в камере сгорания образуется предварительная топливовоздушная смесь, в то время как впрыск для сжигания остатков топлива задерживается.

Весь комплекс мер обеспечивает исключительно низкий уровень вредных выбросов при больших крутящем моменте и мощности, и малом расходе топлива.

8.2. Системы улавливания сажи для дизельных двигателей грузовиков

При эксплуатации грузовых автомобилей следует по возможности избегать простоев.

По этой причине для грузовых автомобилей необходимы системы, способные автоматически и без больших затрат восстанавливаться в режиме движения. Принципиально эти системы работают так же, как и системы легковых автомобилей, но обрабатывать приходится выхлоп и частицы существенно большего объема и массы. Для фильтрации можно использовать, к примеру, дуплексную систему фильтрации (рис. 8.12). Оба фильтра состоят из металлической сетки или специального порошкового сплава. В режиме накопления через оба фильтра проходит поток ОГ, и они улавливают частицы. Во время восстановления фильтров с помощью регулирующих заслонок один из фильтров отключается. Интервал может быть установлен в зависимости от противодавления ОГ или пробега. Так как температура ОГ слиш-

ком мала для сгорания частиц, применяется специальная горелка. Она нагревает дополнительно поданный воздух до 650–700°C за счет сжигания топлива из бака автомобиля. Разогретый воздух подается прямо на фильтры. Сажа и частицы примерно на 90% превращаются в CO_2 и водяной пар. После прожига первого фильтра заслонки переключаются, и восстанавливается второй фильтр. Благодаря тому, что восстанавливается один фильтр, а второй в это время может улавливать сажу, прерывать движение не требуется.

На рис. 8.13 изображена готовая к серийному выпуску компактная система Eberspächer для очистки ОГ у грузовых автомобилей.

Сначала ОГ проходят через окислительный катализатор (1). Во встроенном сажевом фильтре (2) остается более 90% частиц. Затем, со-

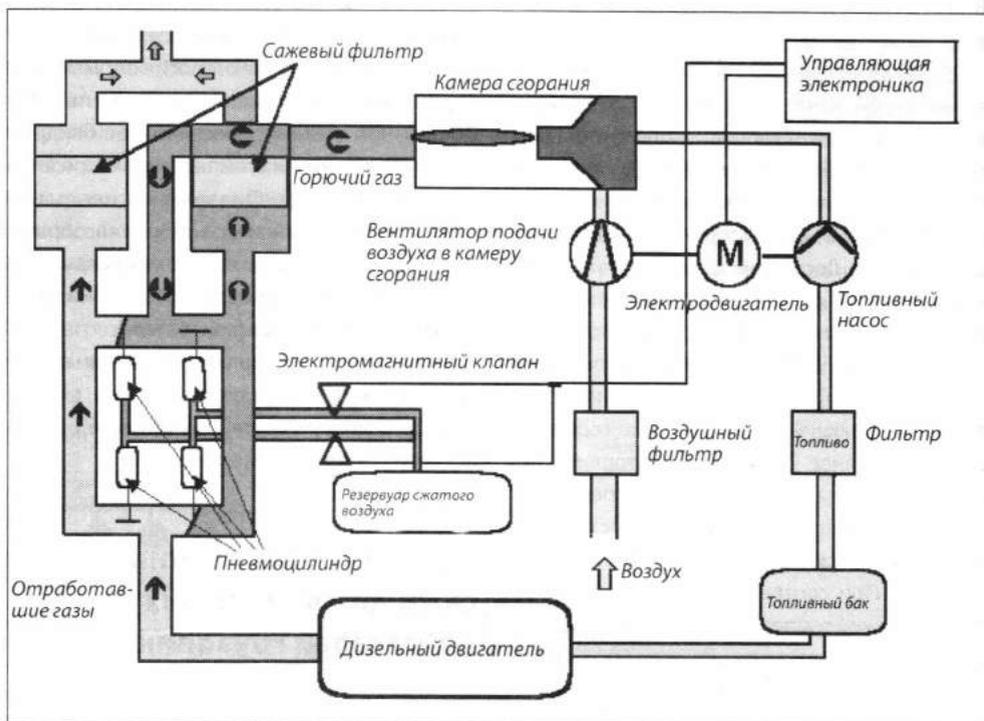


Рис. 8.12. Система фильтрации сажи в грузовых автомобилях

держащие мало частиц ОГ проходят через перфорацию в реакционную камеру (3), куда через сопло (4) подается мочевина. SCR-катализатор (5) подключен к системе селективного каталитического восстановления оксидов азота. Деталь (6) — горелка для восстановления фильтра.

8.2.1. Система CRT

Система CRT (Continuous Regeneration Trap) представляет собой сочетание окислительного катализатора и сажевого фильтра, объединенных в общий блок. CRT-фильтры зависят не только от добавки присадок, но и от точной регулировки системы управления двигателем для восстановления фильтра. Эта система была разработана компанией HJS для автобусов и грузовиков.

В этой системе для сжигания сажи вместо кислорода может использоваться диоксид азота. Такое сгорание возможно уже при 250 °С. Таким образом, порог температуры для восстановления фильтра опускается еще ниже. Тем не менее, в выхлопе из NO сначала должен образоваться NO₂. В системах CRT это происходит в окислительном катализаторе, расположенном перед фильтром. В окислительном катализаторе NO преобразуется в NO₂, а тот, в свою очередь, вступает в реакцию с частицами и в результате получаются N₂, CO₂ и H₂O. Это возможно при температуре ОГ от 250 °С до 400 °С и нулевом содержании серы в топливе. Если сера в топливе есть, то в вы-

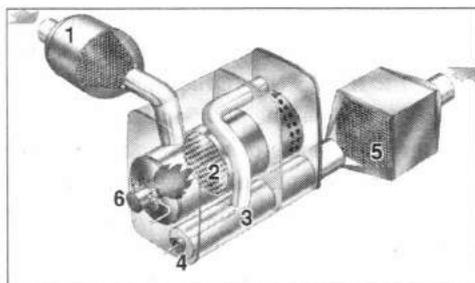


Рис. 8.13. Компактная система [источник: Eberspächer]

пуском тракте образуется сернистая или серная кислота. Если температура ОГ слишком большая, то образуется избыток ядовитого NO₂. Если она будет слишком мала, то не все частицы смогут окислиться, и фильтр засорится.

Для сжигания решающим является соотношение NO₂ к саже. При слишком низкой концентрации NO₂ сгорание не происходит, и фильтр постепенно засоряется. При слишком высокой концентрации возникает утечка NO₂, нежелательная в силу его токсичности. Система предполагает очень небольшое количество серы в топливе, так как иначе катализатор можно отравить серой. Благодаря использованию модульной системы CRT с SCR-катализатором компании HJS (рис. 8.14) вредные выбросы двигателя могут снизиться на 90 %, что является порогом обнаружения в современной технике измерения выбросов. Модульная система



Рис. 8.14. Система CRT с SCR-катализатором [источник: HJS]

CRT встроена в корпус глушителя (из нержавеющей стали). Катализатор окисляет CH, CO и NO до NO₂. Отложившаяся сажа в сажевом фильтре непрерывно сгорает за счет накопившегося в катализаторе оксида азота. Однако выбросы оксидов азота уменьшаются незначительно. Система не требует никакой помощи в восстановлении и работает почти без обслуживания. Для восстановления оксидов азота необходим дополнительный SCR-катализатор и впрыск восстановителя.

Для оптимальной работы системы необходимы следующие условия:

- содержание серы в топливе менее 50 промилле;
- подходящие условия эксплуатации, т.е. диапазон температуры 250–450 °С в зоне фильтра;
- обслуживание двигателя согласно инструкциям изготовителя.

8.2.2. Технология SCR-AC

Еще одним вариантом для уменьшения выброса частиц и оксидов азота у дизельных двига-

телей является сочетание сажевого фильтра CRT и системы SCR с твердым восстановителем (система SCRT — **S**elective **C**atalytic **R**eduction **T**rap, селективное каталитическое восстановление). По сравнению с жидкой мочевиной, превращаемой в аммиак и используемой в качестве восстановителя в SCR-катализаторах, преимущество твердых восстановителей состоит в более высокой плотности аммиака. По сравнению же с твердой мочевиной использование карбамата аммония (AC) при почти той же плотности аммиака выгоднее, так как требуются очень малые затраты энергии на превращение карбамата аммония в аммиак. Благодаря сублимационной температуре всего в 60 °С карбамат аммония (твердый) можно обратимо превратить прямо в аммиак (газообразный). В результате не возникает проблем с низкими температурами, как в случае с водным раствором. Разработанный компанией HJS AC-реактор (рис. 8.15) обеспечивает подачу аммиака прямо перед катализатором, не допускает его утечки даже при неблагоприятных условиях и выполняет все требования к безопасности, надежности и запасу хода.

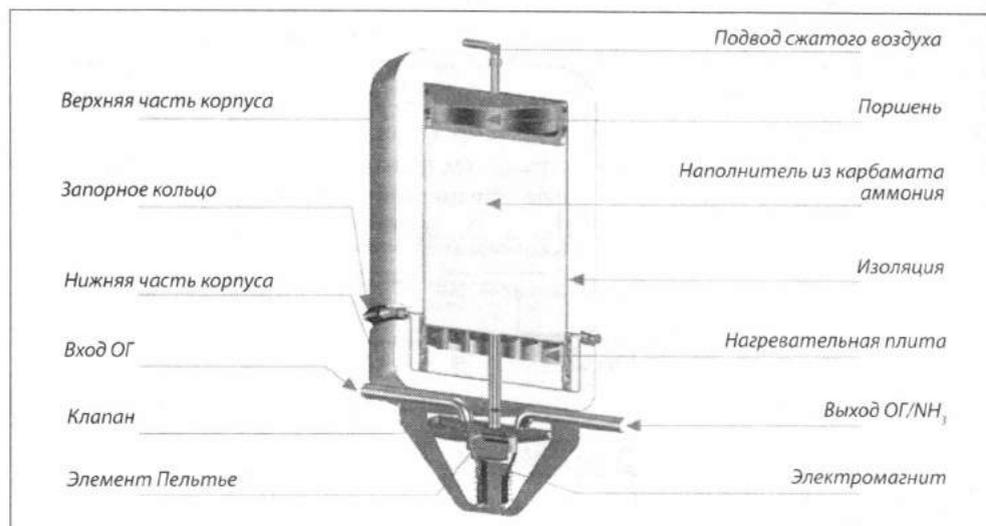


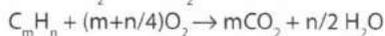
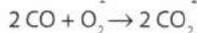
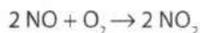
Рис. 8.15. Реактор с карбаматом аммония (AC-реактор) [источник: HJS]

8.2.3. Перспективные сложные системы очистки ОГ дизельных двигателей

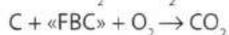
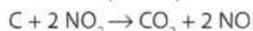
В перспективе системы очистки ОГ дизельных двигателей будут представлять собой сочетания различных отдельных систем. При этом каждая система будет выполнять свои собственные, совершенно конкретные задачи. Необходимая сложность систем зависит от размера двигателя, количества цилиндров, мощности двигателя, массы автомобиля и действующих ПДК для выхлопа. На рис. 8.16–8.17 показаны максимально возможные варианты комплексных систем очистки ОГ для дизельных двигателей легковых автомобилей. Системы для грузовых автомобилей почти ничем не отличаются. В выпускной тракт могут быть добавлены специальные испарители или распылители топлива.

Химические превращения в примере 1 (рис. 8.16)

Окислительный катализатор

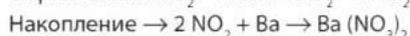
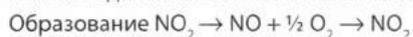


Сажевый фильтр с «FBC»

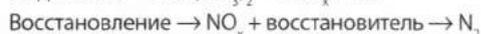
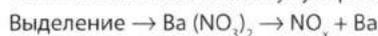


Накопительный катализатор NO_x

Режим бедной смеси с восстановлением NO_x

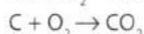
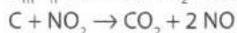
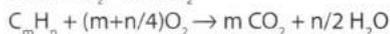
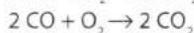
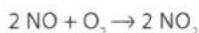


Режим богатой смеси с аккумулярованием NO_x

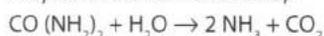


Химические превращения в примере 2 (рис. 8.17)

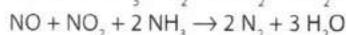
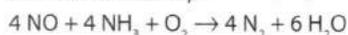
CSF (Сажевый фильтр с каталитическим покрытием)



Гидролизный катализатор

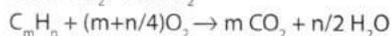
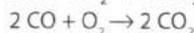
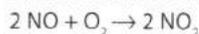


SCR-катализатор

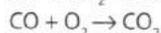
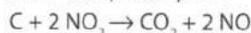


Химические превращения в примере 3 (рис. 8.18)

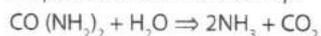
Окислительный катализатор



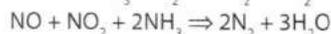
Сажевый фильтр CRT



Гидролизный катализатор



SCR-катализатор



8.3. Условия восстановления для сажевых фильтров

8.3.1. Сравнение достижимых температур ОГ в различных системах

У всех технологий восстановления сажевых фильтров есть одно общее свойство — при определенных типичных условиях температура ОГ оказывается ниже температуры воспламенения сажи. Это происходит, к примеру, при низкой нагрузке во время езды по городу, где пассивное восстановление невозможно. Если в этом диапазоне система регулирования не может определить необходимость восстановления — например, из-

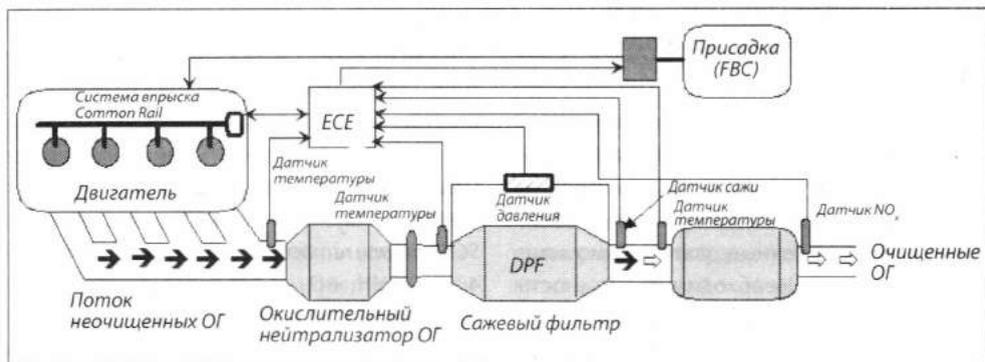


Рис. 8.16. Пример 1 комплексной системы очистки для дизельных двигателей легковых автомобилей

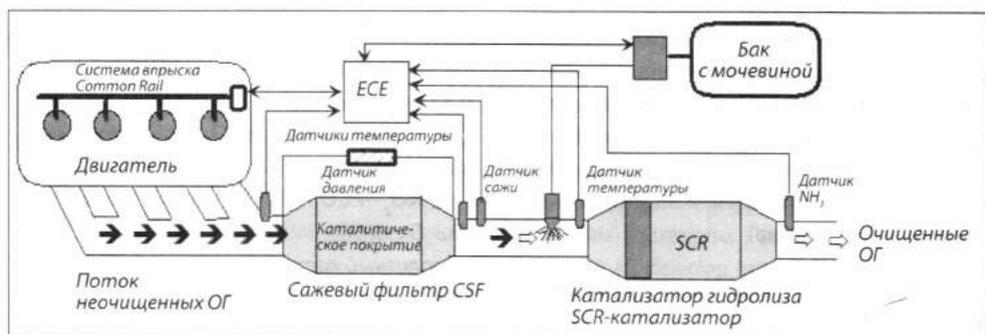


Рис. 8.17. Пример 2 комплексной системы очистки для дизельных двигателей легковых автомобилей

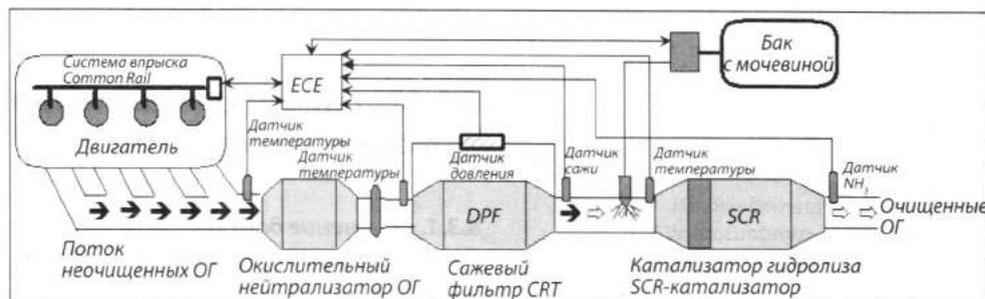


Рис. 8.18. Пример 3 комплексной системы очистки для дизельных двигателей легковых автомобилей

за превышения порогового противодавления ОГ — то придется повысить температуру ОГ. Это условие можно выполнить, к примеру, посредством дополнительного впрыска топлива в выпускной тракт. Насколько нужно повысить температуру, зависит от технологии восстановления и системы фильтрации.

Величина роста температуры зависит от нагрузки и режима движения и может составлять до 300 °С. У современных дизельных двигателей с системой впрыска Common Rail при большой мощности и оборотах температура ОГ может достигать 600 °С. Таким образом, температура воспламенения сажи

в 600°C достигается, но в узком диапазоне характеристик. Во всем остальном диапазоне характеристик фильтр не восстанавливается сам по себе.

Этот диапазон температур можно уменьшить с помощью описанных ранее технологий восстановления до:

- 400°C — с помощью присадочной технологии (FBC);
- 360°C — с помощью сажевого фильтра с каталитическим покрытием;
- 280°C — с помощью системы CRT.

Но даже при самых низких температурах воспламенения сажи остается остаточный диапазон, в котором пассивные технологии сжигания сажи не работают. Восстановление во всем рабочем диапазоне удастся лишь путем сочетания пассивных и активных технологий, например, электрического нагрева ОГ или дополнительного впрыска топлива.

Нежелательный процесс при восстановлении фильтра — частичное восстановление лишь в некоторых областях фильтра. В результате в фильтре изменяются параметры давления и условия обтекания, что отрицательно сказывается на отложении частиц, их распределении и восстановлении фильтра.

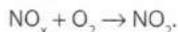
Сажевым фильтрам требуется определенная длина для обеспечения достаточно большого аккумулирующего объема. Кроме того, платиновое покрытие может достичь каталитического эффекта. Каталитическое покрытие сажевого фильтра должно быть поделено на различные зоны по всей длине фильтра. В передней зоне на поверхности должно быть больше платины, чем в задней зоне. Это дает следующие преимущества.

- В передней зоне сажевый фильтр в обычном режиме нагревается быстрее. Из-за высокой концентрации платины в этой зоне фильтр обладает хорошим каталитическим действием. Говорят также о быстром «подхватывании» сажевого фильтра.

- В фазе восстановления задняя зона при сгорании сажи сильно нагревается. Из-за высоких температур платина подвергалась бы длительному агрессивному воздействию, поэтому в задней зоне решено было отказаться от платинового покрытия. Еще одной причиной небольшого количества платины в задней зоне является старение сажевого фильтра. Со временем в задней зоне откладывается все больше остатков сгорания и золы, что снижает каталитическое действие платины.

8.3.2. Естественное восстановление в фильтре

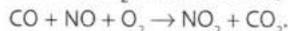
Из содержащихся в ОГ оксидов азота (NO_x) и кислорода (O_2) на платиновом покрытии создается диоксид азота (NO_2):



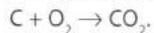
Диоксид азота (NO_2) реагирует с частицами углерода (C). В результате образуется оксид углерода (CO) и оксид азота (NO):



Оксид углерода (CO) и оксид азота (NO) окисляются кислородом (O_2) до диоксида азота (NO_2) и диоксида углерода (CO_2):



При активном восстановлении частицы сгорают за счет роста температуры ОГ. При этом углерод (сажа) окисляется содержащимся в ОГ кислородом до диоксида углерода:



8.3.3. Определение степени загрязнения сажевого фильтра

Состояние заполнения сажевого фильтра постоянно контролируется блоком управления двигателем путем расчета аэродинамического сопротивления фильтра. Для этого расчета определяется текущий объемный расход ОГ перед сажевым фильтром и сравнивается с дифференциальным давлением

воздушного потока (разность давлений перед фильтром и за фильтром). В электронике запрограммированы различные модели заполнения. Разность давлений воздушного потока перед и за сажевым фильтром определяется датчиком давления ОГ. Необходимые восстановления выполняются только при прогревом двигателя.

Восстановление фильтра запускается несколькими независимыми друг от друга системами контроля. Это могут быть, к примеру, заданные пороговые значения противодавления ОГ, зависящие от нагрузки и оборотов. Для регулярного очищения фильтра независимо от заполнения на всякий случай запускается принудительное восстановление — после заданного пробега или совокупного расхода топлива. Для определения необходимости восстановления могут использоваться также оба критерия. Условия восстановления при движении в городе и по трассе из-за разных

температур ОГ также различны. Если на трассе, несмотря на недостиженные пороговые значения, возникнут благоприятные условия для восстановления, то оно будет скорее выполнено там, чем при таком же наполнении сажей и при таком же пороговом значении при движении в городе. То есть фильтр восстанавливается «про запас». На рис. 8.19 изображена принципиальная схема цикла восстановления сажевого фильтра.

Объемный расход ОГ вычисляется блоком управления на основе массового расхода воздуха в выпускном тракте и температуры ОГ перед сажевым фильтром. Массовый расход ОГ должен примерно соответствовать массовому расходу воздуха, определенному расходомером. Однако массовый расход ОГ зависит и от их температуры. Она определяется датчиками температуры перед и за сажевым фильтром. С учетом температуры по массовому расходу ОГ можно вычислить их объемный расход.

С увеличением заполнения фильтра растет давление ОГ перед фильтром, в то время как после фильтра оно почти не меняется. С помощью пьезодатчика можно легко определить эту разность. Диапазон измерения у датчиков давления составляет 600–2000 мбар. ЭБУ сравнивает текущую разность давления с вычисленным объемным расходом и на основе этого вычисляет текущее аэродинамическое сопротивление фильтра. На основании аэродинамического сопротивления и сравнения заданных значений с фактическими ЭБУ определяет степень засорения фильтра (рис. 8.20). Запускается восстановление либо система предлагает водителю движение с определенными параметрами. Если фильтр перегружен или засорен, требуется посетить СТО или заменить фильтр. У автомобилей с системой D-OBД проверка работоспособности фильтра интегрирована в систему самодиагностики.

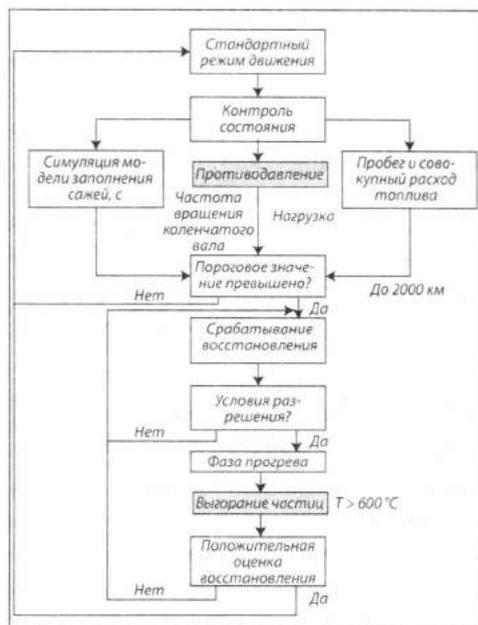


Рис. 8.19. Цикл восстановления сажевого фильтра



Рис. 8.20. Определение объемного расхода ОГ

8.3.4. Контрольная лампа и поездки преимущественно на короткие расстояния

Контрольная лампа сажевого фильтра (рис. 8.21) находится на панели приборов в поле зрения водителя. Она горит желтым светом, если сажевый фильтр не может восстановиться из-за поездок на слишком короткие расстояния. У систем с присадками при недостаточном количестве присадки на дисплее появляется дополнительное предупреждение. Контрольную лампу и сообщения на дисплее ни в коем случае нельзя игнорировать, иначе в системе фильтрации могут возникнуть необратимые повреждения. Символ для контрольной лампы еще не утвержден и у разных автомобилей он может выглядеть по-разному.

При большой доле поездок на короткие расстояния восстановление сажевого фильтра может ухудшиться, так как температура ОГ не достигает необходимого уровня. Поскольку восстановление не происходит, возможно повреждение или блокада фильтра из-за переполнения сажей. Последующие восстановления фильтра при слишком большом заполнении сажей могут привести к тер-

мическому повреждению фильтра при сжигании сажи. Чтобы предотвратить это, при превышении заданного порогового заполнения сажей или определенного количества неудачных попыток восстановления загорается контрольная лампа сажевого фильтра.

Система предложит водителю в течение 15 минут двигаться по возможности с равномерной скоростью около 60 км/ч. Наилучшая очистка достигается, когда автомобиль движется на высшей передаче со средними оборотами (около 2000 мин⁻¹). Затем контрольная лампа должна погаснуть. Если лампа не гаснет, то загорается индикатор неисправностей системы OBD и на дисплей выводится сообщение о необходимости посетить ближайшую СТО.

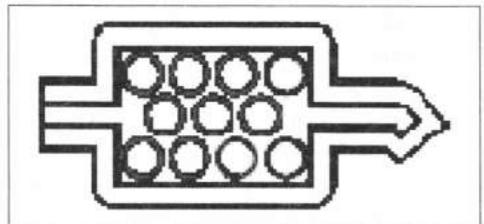


Рис. 8.21. Контрольная лампа

8.3.5. Особенности использования сажевых фильтров

При применении на автомобиле сажевого фильтра водитель должен учитывать ряд моментов.

- ❑ Небольшое изменение приемистости автомобиля при нажатии на педаль «газа» в фазе восстановления фильтра.
- ❑ Изменение акустической картины (более низкие частоты) в фазе восстановления.
- ❑ Все изготовители запрещают тюнинг двигателя у автомобилей с сажевыми фильтрами.
- ❑ При использовании биодизельного топлива может иметь место недопустимое разжижение моторного масла из-за необходимого дополнительного впрыска. Поскольку температура кипения биодизельного топлива составляет 320–340 °С, топливо не может полностью испариться.
- ❑ При использовании биодизельного топлива может иметь место повышенное золообразование в сажевом фильтре. Содержащийся в биодизельном топливе фосфор может также повредить катализаторы.
- ❑ Расход топлива слегка повышается из-за дополнительного впрыска и чуть более высокого противодавления ОГ.
- ❑ Необходимо соблюдать все указания, выводимые на дисплей бортового компьютера или системы информирования водителя.
- ❑ Автомобили с сажевыми фильтрами можно подвергать проверке токсичности ОГ лишь при условии, что система фильтрации не находится в фазе восстановления.
- ❑ Целесообразно использование специальных масел (с маркировкой Low-Ash или Low SAPS).

Помимо частиц в фильтре откладываются также остатки масляных присадок. Здесь проблема состоит еще и в том, что эти золь-

ные отложения распределяются в фильтре неравномерно. Особой проблемой является сульфатная зола в фильтре. В ее образовании особенно интенсивно участвуют присадки из сульфата кальция, сульфата магния и соединения цинка и фосфора (цинкдитиофосфат) и сера. По техническим причинам полностью отказаться от этих присадок в масле пока нельзя. Однако можно смягчить проблемы образования сульфатной золы с помощью масел со специальными смесями присадок. Поставщики масел предлагают соответствующую продукцию. При долипании и замене масла следуйте инструкциям изготовителя в отношении спецификаций масла.

При выборе места установки фильтра в выпускном тракте автомобиля необходимо учитывать, что дополнительная масса в 3–4 кг (масса фильтра) сильно влияет на вибрационную картину и резонансы выпускного тракта. Место установки фильтра нужно выбирать так, чтобы достигалась достаточно высокая для восстановления температура и не ухудшалось действие окислительного катализатора. Проблема засорения и недостаточного восстановления при постоянной езде по городу вряд ли решается без дополнительного обогрева. Размеры фильтров выбираются такими, чтобы фильтры могли накапливать много золы и были рассчитаны на срок службы легкового автомобиля. На рис. 8.22 и 8.23 изображены варианты фильтра HJS на основе порошкового сплава с обогревом. Система фильтрации частиц фирмы Twin Tec (рис. 8.24 и 8.25) также представляет собой систему на основе порошкового сплава с дополнительным каталитическим покрытием. Она состоит из двух слоев нетканого материала, между которыми проложена металлическая фольга. Благодаря лопаткообразным надрезам в гофрированной фольге можно направить часть потока ОГ в расположенный сверху или снизу слой

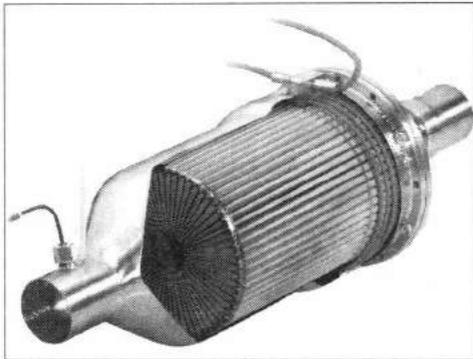


Рис. 8.22. Фильтр HJS на основе порошкового сплава с обогревом [источник: HJS]

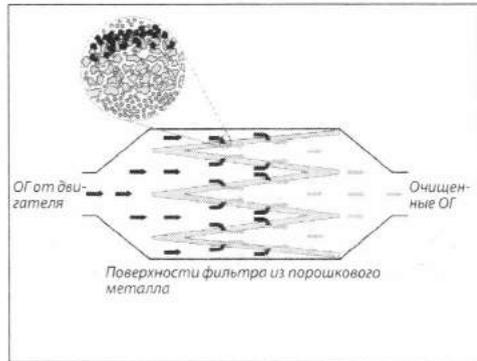


Рис. 8.23. Принцип работы фильтра на основе порошкового сплава [источник: HJS]

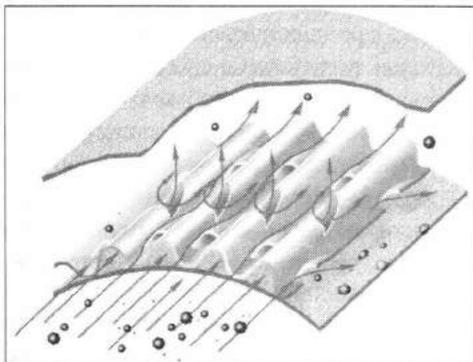


Рис. 8.24. Фильтр Twin Tec на основе порошкового сплава [источник: Twin Tec]

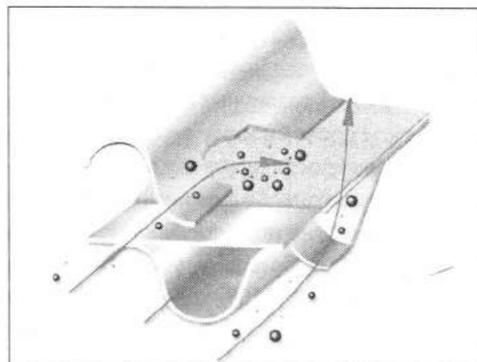


Рис. 8.25. Поток ОГ в фильтре [источник: Twin Tec]

на основе порошкового сплава. В микро-структуре нетканого материала пролетающие мимо частицы ОГ сепарируются. Оставшиеся ОГ попадают в расположенный сверху либо снизу слой и благодаря лопаточной структуре могут быть отведены в следующий холст (рис. 8.25). Частицы удерживаются в холсте, накапливаются и, начиная примерно с 200°C, непрерывно сгорают. Удаление частиц происходит непрерывно путем окисления углерода

диоксидом азота. Диоксид азота образуется при температуре от 200–280°C в фильтре-катализаторе с каталитическим покрытием из содержащегося в ОГ оксида азота. Каталитическое покрытие выполняет еще одну задачу. Кроме того, фильтр-катализатор выполняет функцию окислительного катализатора. Окисляются оксид углерода и углеводороды. Это позволяет полностью заменить имеющийся окислительный катализатор.

9. БОРТОВАЯ ДИАГНОСТИКА (OBD)

9.1. История OBD I и OBD II

Обязанность внедрения систем OBD в Европе вытекает из различных директив и предписаний Еврокомиссии по уменьшению вредных выбросов и утвержденной «Программы по автомобилям и маслам».

OBD не есть нечто новое. Первые системы OBD были разработаны и устанавливались еще в начале 80-х. В 1984 году в Калифорнии впервые вышел закон об OBD. Разработчиком этого закона было Министерство воздушных ресурсов Калифорнии (CARB, California

Air Resources Board). Этот закон, известный как OBD I, распространялся на все новые автомобили, выпускаемые с 1988 года в Калифорнии. Закон OBD I потребовал постоянного контроля всех компонентов, непосредственно связанных с электроникой двигателя.

Уже в 1988 году были разработаны первые проекты OBD II. С 1994 года были ужесточены требования к новым автомобилям. Это ужесточение известно как OBD II и с 1996 года действует в полном объеме. В OBD II впервые потребовался стандартизированный интерфейс в автомобиле. При этом стало возможно с помощью универсальных тестеров (и без специальных знаний в области программирования) выполнять проверку всех систем, связанных с выпуском ОГ. Чтобы автомобили в США могли получить допуск к эксплуатации, изготовитель должен был гарантировать, что предельно допустимые параметры ОГ будут соблюдаться в течение 5 лет или 100 000 миль пробега (на перспективу запланировано 15 лет и 150 000 миль). Надзорные органы осуществляют выборочный контроль. Все изготовители, экспортирующие автомобили в Калифорнию, имеют необходимое Know-how. Введенный в Европе стандарт EOBD базируется на американских стандартах и используемых технологиях.

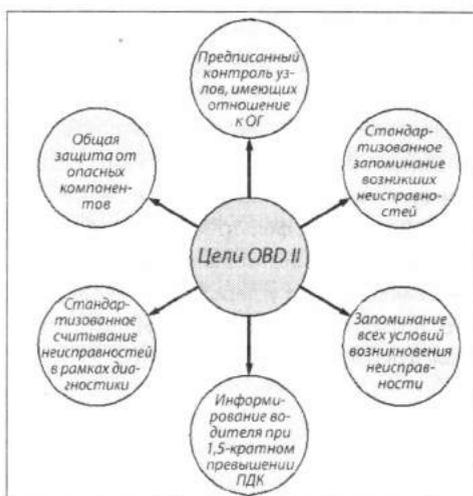


Рис. 9.1. Цели и задачи OBD II

В США уже подумывают о вводе OBD III. У этой системы бортовой диагностики в автомобиле больше не нужно проводить отдельных проверок. В автомобиле должен находиться ретранслятор, передающий сигналы о возникающих неисправностях через спутник на центральный пульт управления. С этого пульта управления запускаются необходимые меры по устранению неисправностей (например, информация для водителя или останова автомобиля). Сейчас обсуждаются конкретные предложения. Уже определено, что ни OBD II, ни EOBD не станут конечным этапом контроля систем, имеющих отношение к выбросам ОГ. Новые предельные значения токсичности ОГ с 2008 года требуют совершенно новых методов контроля. Подумывают о системах OBM (**O**n-**B**oard-**M**essung — бортовое измерение) для непосредственного измерения концентрации вредных выбросов автомобиля.

9.2. Требования к системам OBD

С 01.01.2000 все автомобили с бензиновыми двигателями стали оснащаться системой OBD. С 01.01.2004 это требование распространилось и на автомобили с дизельными двигателями, а с 2006 года — на грузовые автомобили. С этого времени гарантировалась возможность ремонта и обслуживания автомобилей с системами OBD на всей территории Евросоюза. При этом в автомобилях должен быть стандартизированный интерфейс системы OBD. Также должен быть обеспечен доступ ко всей необходимой информации и данным по соответствующим системам без специального декодирования для любой СТО, контролирующих органов, аварийно-эвакуационных служб. Изготови-

тели были обязаны не позднее чем через три месяца после предоставления авторизованным дилерам технической информации по OBD, сделать ее доступной для прочих заинтересованных сторон, при необходимости за отдельную плату. Исключение составляют данные, представляющие собой особую интеллектуальную собственность или секретные технические знания. К сожалению, не всегда и не все изготовители и импортеры выполняют это требование.

Системы OBD во время поездки обеспечивают постоянный контроль всех деталей и узлов автомобиля, имеющих отношение к выхлопным газам. При возникновении неисправностей, приводящих к превышению установленного предельного содержания вредных веществ в ОГ в 1,5 раза, на панели приборов загорается сигнальная лампа (MIL). В этом случае водитель должен ехать на ближайшую СТО и устранить неисправность. Диагностическая система не должна оценивать неправильно функционирующие детали, если такая оценка может привести к угрозе безопасности или отказу деталей.

Система OBD предоставляет все текущие данные о состоянии автомобиля. Так, могут быть запрошены данные об объеме оснащения, версии ПО и версии ЭБУ. Эти данные можно получить только через стандартизированный интерфейс OBD. Обязательная проверка токсичности ОГ также упрощается благодаря OBD. Так, в качестве замены для проверки контура регулирования выполняется считывание кодов из регистратора событий системы OBD.

Общие задачи OBD:

- контроль всех узлов, деталей и систем автомобиля, имеющих отношение к выхлопным газам;
- защита компонентов (катализатора и лямбда-зондов);

- запись информации о возникших неисправностях;
- регистрация условий эксплуатации в момент возникновения неисправности;
- информирование водителя при превышении предельного уровня токсичности ОГ в 1,5 раза;
- передача сохраненной информации в рамках диагностики и устранения неисправностей.

Постоянные проверки системы OBD и ее компонентов происходят лишь косвенно. К примеру, состав выхлопных газов автомобиля определяется только по напряжению лямбда-зонда и некоторым другим параметрам. Фактическая же концентрация вредных веществ в ОГ не может контролироваться системой OBD. В частности, не определяются граничные случаи, когда отдельные системы хоть и работают в допустимых пределах, но в сумме эти допуски выдают превышение предельных концентраций. Таким образом, системы OBD не позволяют сделать точный вывод о полной функциональной безопасности систем в плане токсичности ОГ. Распознавание причин неисправностей и прогнозирование вызываемых ими новых неисправностей посредством OBD также невозможно. Здесь системы OBD (по крайней мере, используемые на момент написания данного материала) достигают пределов своих технических возможностей.

9.2.1. Общие требования к OBD

В предписаниях по OBD законодательно устанавливаются минимальные основные требования. При этом существуют лишь небольшие различия между европейскими и американскими требованиями.

Основные требования к системам OBD:

- контроль катализаторов;
- контроль сажевых фильтров;
- контроль лямбда-зондов;
- распознавание пропусков зажигания;
- распознавание неполного сгорания;
- контроль топливной системы;
- контроль системы впуска добавочного воздуха;
- контроль системы рециркуляции ОГ;
- контроль системы вентиляции топливного бака;
- контроль системы охлаждения;
- контроль системы управления клапанами;
- регистрация условий работы;
- стандартизированное управление индикаторами неисправности (MIL);
- стандартизированный диагностический интерфейс;
- сообщение о готовности системы к проверке (код готовности);
- защита от вмешательств и манипуляций с ЭБУ;
- контроль специальных функций АКПП (имеющих отношение к ОГ).

Для выполнения этих требований необходимо множество датчиков, контролирующих электронику двигателя, выпускной тракт и картину выхлопа. Постоянная самодиагностика и проверка правдоподобности сигналов гарантируют комплексный контроль. Возникающие неисправности после нормирования регистрируются в запоминающем устройстве. Несмотря на эту сложную технологию, инженеры не могут отказаться от хорошо зарекомендовавших себя прямых методов диагностики. Постоянный контроль автомобиля, например, проверка токсичности ОГ — по-прежнему нужны.

Системы OBD посредством датчиков должны постоянно определять, анализировать и регистрировать, как минимум, следующие параметры двигателя и условия эксплуатации:

- температура двигателя;
- адаптация смеси;
- нагрузка на двигатель;

- давление топлива;
- обороты двигателя;
- скорость движения;
- информация о неисправностях;
- пробег автомобиля;
- коды неисправностей;
- давление во впускном трубопроводе;
- напряжение питания;
- состояние и функция контура лямбда-регулирования.

Дополнительно определяются и анализируются и другие важные величины — температура масла, опережение зажигания, расход воздуха, положение дроссельной заслонки, регулировка фаз газораспределения, функция кондиционера, вентиляция картера двигателя, температура ОГ и функция АКПП. При этом имеются некоторые различия между определением величин в EOBD и CARB OBD II (таблица 9.1).

Таблица 9.1. Сравнение требований CARB OBD и EOBD

Требование к контролю	Минимальное требование CARB OBD II	Минимальное требование EOBD
Предельные значения OBD	Заданный коэффициент × предельная концентрация	Независимо от предельной концентрации
Активация индикатора MIL	После 2-х последовательных циклов движения	После 3-х последовательных циклов движения
Контроль катализатора	1,75 × выбросы CH 3,5 × или 1,75 × выбросы NOx 1,75 × выбросы частиц	Преобразование CH
Пропуски зажигания	Риск повреждения катализатора и если 1,5 × выбросы	Распознавание пропусков зажигания
Система вентиляции топливного бака	Диаметр утечки 0,5 и 1 мм	Электронная проверка и контроль клапана вентиляции бака
Система впуска добавочного воздуха	1,5 × предельные концентрации	Как минимум, выход из строя или неисправность
Топливная система	1,5 × ошибка регулировка смеси	Как минимум, выход из строя или неисправность
Лямбда-зонд	1,5 × предельная концентрация в ОГ, старение зонда, реагирование, динамика зонда, обогрев зонда	Выход из строя или неисправность, старение и снижение эффективности
Система рециркуляции ОГ	1,5 × отклонение величины интенсивности рециркуляции	Как минимум, выход из строя или неисправность
Вентиляция картера двигателя	Отсоединение подсистем	Не требуется
Система охлаждения двигателя	Датчик ОЖ и термостат	Контроль датчика ОЖ
Снижение выбросов при холодном запуске	1,5 × предельные концентрации, обогрев катализатора и стратегия обогрева	Не требуется
Кондиционер	Если кондиционер влияет на работу OBD и выбросы ОГ	Не требуется, необходимо начиная с Евро-5
Регулируемые управлен- ные клапанами	1,5 × предельные концентрации, реагирование и точность	Как минимум, выход из строя или неисправность

Требование к контролю	Минимальное требование CARB OBD II	Минимальное требование EOBD
Сажевый фильтр	1,5 x предельные концентрации, производительность	Работоспособность, наличие, состояние
Датчики и исполнительные механизмы, имеющие отношение к ОГ	Проверка работы исполнительных механизмов, проверка правдоподобности и проверка электрических неисправностей датчиков	Как минимум, неисправности в интегральных схемах
Идентификатор калибровки Cal-ID	Для всех блоков управления OBD	Должно быть доступно
Номер проверки калибровки, CVN	Для всех блоков управления OBD	Предусмотрено на будущее
Идентификационный номер ТС, VIN	Для всех блоков управления OBD	Предусмотрено на будущее
Пробег со включенным индикатором MIL	Должно быть доступно	Должно быть доступно
Счетчик минимальной частоты проверок	Минимальная частота отдельных проверок	Не требуется

9.2.2. Защита от манипуляций с OBD

Изготовители обязаны обеспечить защиту систем OBD от манипуляций и простого перепрограммирования характеристик. Предотвратить это призвано использование запаянных ЭБУ и специальных кристаллов памяти. В директиве 1999/102/EG в Приложении 1 п. 5.1.4.5 указано: «Изготовители, использующие программируемые системы машинного кода (например, электрически-стираемое программируемое ПЗУ, EEPROM), должны предотвратить несанкционированное перепрограммирование. Изготовители должны применять прогрессивные стратегии защиты, а также функции защиты от записи, требующие электронного доступа к компьютеру, который изготовитель подключает за пределами автомобиля. Методы, обеспечивающие должный уровень защиты от несанкционированного вмешательства, утверждаются соответствующими органами».

Зачастую развитие тюнинга (дополнительные блоки управления перед блоком управления двигателем, программируемые

модули памяти и пр.) опережает защитные меры изготовителей. Условия для выполнения и соблюдения требований к OBD подделываются.

В любом случае использование или замена деталей одного и того же типа разных изготовителей не должна ухудшать или деактивировать диагностические функции системы OBD.

9.2.3. Устранение неисправностей в OBD

Для индикатора неисправностей MIL (**M**alfunction **I**ndicator **L**amp) для всех изготовителей действуют пороговые значения. Индикатор неисправностей OBD не следует путать с описанными ранее контрольными лампами CHECK ENGINE у более старых автомобилей. Эти контрольные лампы не имели стандартизированных условий включения, не зависящих от изготовителя. Они программировались изготовителями по собственному усмотрению согласно определенным ими пороговым значениям.

Управление индикатором неисправностей OBD при возникновении неисправностей стандартизируется следующим образом:

- включение индикатора неисправностей после двух (CARB) или трех (EOBD) последовательных циклов движения с одной и той же неисправностью и запись в регистратор событий;
- выключение индикатора неисправностей после трех последовательных бесперебойных циклов движения с фазой прогрева, в течение которого система контроля, включающая индикатор неисправностей больше не выявляет соответствующую неисправность, равно как не выявляет и других неисправностей, которые, в свою очередь, включили бы индикатор неисправностей;
- удаление кода неисправности из запоминающего устройства после не менее 40 бесперебойных циклов движения с фазой прогрева (защита от дорогостоящего ремонта).

В таблице 9.2 показаны действующие пороговые значения для диагностики у европейских OBD для включения MIL и записи кодов неисправностей в запоминающее устройство.

В случае перебоев процесса сгорания, при которых (по данным изготовителя) очень вероятно повреждение катализатора, индикатор неисправностей может перейти

на обычную форму активации, если перебоев со сгоранием больше не происходит или условия работы двигателя по оборотам и нагрузке изменились настолько, что выявленная частота перебоев со сгоранием больше не приводит к повреждениям катализатора.

Правила управления индикатором неисправностей предотвращают сбивающее водителя с толку включение индикатора из-за кратковременных сбоев или граничных случаев, не являющихся истинными неисправностями деталей выпускной системы. Точно определены циклы движения (рис. 9.10) и прогрева.

Цикл движения — это запуск двигателя, движение до возможной регистрации неисправности и выключение двигателя.

Цикл прогрева — это запуск двигателя, движение до тех пор, пока температура охлаждающей жидкости не повысится не менее чем на 22 °С и не составит минимум 70 °С, и двигатель снова не выключится.

Индикатор неисправностей MIL включается при следующих условиях:

- если неисправен компонент, связанный с управлением двигателем или КПП;
- если какая-либо деталь вызывает превышение предельного уровня выбросов на 15% или выдает неправдоподобные сигналы;
- старение катализатора приводит к росту выбросов CH сверх предельного уровня;

Таблица 9.2. Диагностические пороги

Класс / группа автомобилей		Базисная масса RW, кг	CO г/км		CH г/км		NOx г/км		PM г/км
Класс	Группа		Бензин	Дизель	Бензин	Дизель	Бензин	Дизель	
легковые		все	3,2	3,20	0,40	0,40	0,60	1,20	0,180
легкие грузовики	I	RW<1305	3,2	3,20	0,40	0,40	0,60	1,20	0,180
	II	1305<RW<1760	5,80	4,00	0,50	0,50	0,70	1,60	0,230
	III	1760<RW	7,30	4,80	0,60	0,60	0,80	1,90	0,280

- ❑ возникают пропуски зажигания, повреждающие катализатор или увеличивающие выбросы;
- ❑ система вентиляции топливного бака имеет определенную утечку или через систему не проходит воздушный поток;
- ❑ система управления двигателем или КПП переходят в аварийный режим;
- ❑ лямбда-регулирование не активируется в установленное время после запуска;
- ❑ заданная температура двигателя превышена более чем на 11 °С (кроме EOBD).

Индикатор неисправностей должен загореться перед запуском двигателя при включении зажигания и погаснуть после запуска двигателя, если прежде не будет выявлена какая-либо неисправность. Конструкция и внешний вид индикатора MIL (рис. 9.2) регламентируются следующими условиями:

- ❑ лампа должна находиться в поле зрения водителя;
- ❑ при включении зажигания лампа должна загореться;
- ❑ цвет лампы не должен быть красным (часто используется желтый цвет);
- ❑ при возникновении неисправностей в деталях системы выпуска лампа должна гореть постоянно;

- ❑ при возникновении неисправностей, которые могут привести к повреждениям катализатора (например, пропуски зажигания), лампа должна мигать;
- ❑ допускается дополнительный звуковой сигнал.

Мигание индикатора MIL при возникающих пропусках зажигания должно продолжаться до тех пор, пока не будет перекрыта подача топлива в неисправный цилиндр. Когда будет перекрыта подача топлива, MIL будет гореть постоянно.

Индикатор неисправностей нельзя использовать ни для каких других целей кроме индикации аварийного пуска или движения в аварийном режиме. Он должен быть хорошо различим при всех (как правило) условиях освещения. Система OBD записывает в регистратор событий пробег с момента появления стандартизированной неисправности. Условия работы (окружающие условия) при возникновении неисправности также записываются в регистратор. Эти окружающие условия называют данными **Freeze Frame**.

В рамках цикла движения определенные детали и системы контролируются постоянно, а другие — лишь однократно.



Рис. 9.2. Управление индикатором неисправностей OBD

Постоянному контролю подлежат детали и системы, имеющие отношение в выхлопным газам. Это, к примеру, распознавание сбоев сгорания, топливная система или электрические контуры деталей выпускной системы, которые контролируется сразу после запуска двигателя и при сбоях могут привести к немедленному включению индикатора неисправности.

Циклически контролируются системы, функция которых привязана к определенным условиям работы. Эти системы контролируются только один раз за цикл движения, при достижении соответствующих рабочих точек. Сюда относятся, к примеру, функции катализатора и лямбда-зонда, а также система впуска добавочного воздуха (если установлена). В силу условий, необходимых для работы этих систем (например, холодный запуск для системы впуска добавочного воздуха), может случиться так, что условия проверки деталей не всегда смогут быть выполнены.

Как показано в примере цикла движения на рис. 9.10, отдельные фазы цикла можно проезжать в произвольном порядке. Неисправность, связанная с системой выпуска, должна появиться в двух последовательных (один за другим) циклах движения, прежде чем загорится индикатор неисправности. Диагностика и проверка системы прерываются, если условия цикла, такие как частота вращения или скорость, выходят за допустимые пределы.

На практике это приводит к проблемам, когда при выполнении технического обслуживания специалисты пытаются просмотреть результаты диагностики системы OBD после успешно выполненного ремонта того или иного узла. Большое количество времени на проезд всего цикла, а также необходимый процент движения с постоянной скоростью сильно усложняют такого рода поездку.

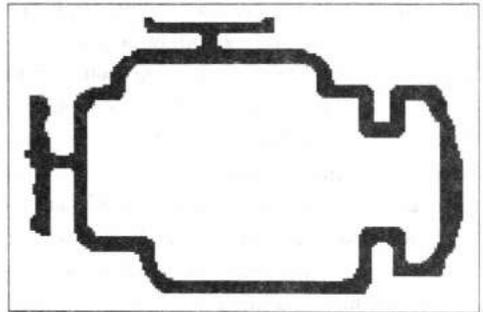


Рис. 9.3. Символ неисправности системы управления двигателем (MIL)

Стало быть, должна обеспечиваться возможность проверки системы OBD и без цикла движения — на СТО. Здесь изготовители выставляют определенные условия для тестирования автомобиля. Путем целенаправленного прохода заданных точек нагрузки и диапазонов частоты вращения можно значительно ускорить проверку функционирования отдельных компонентов. Короткие проверки нужно сначала зарегистрировать в ЭБУ с помощью диагностического тестера.

9.2.4. Условия отключения для OBD

Заданные условия отключения OBD допустимы тогда, когда при определенных условиях работы возможна индикация и регистрация неисправности, не вызванная реальной неисправностью. Это может иметь место, когда:

- топлива в баке остается менее 15% (CARB) или менее 20% (EOBD);
- автомобиль эксплуатируется на высоте более 2400 м (CARB) или 2500 м (EOBD) над уровнем моря;
- окружающая температура составляет менее -7°C ;
- используются вспомогательные агрегаты, приводимые двигателем — например, лебедки у вседорожников (только если вспомогательный агрегат работает);
- слишком низкое напряжение АКБ.

Описанные выше условия отключения допускаются лишь при предоставлении изготовителем соответствующих данных и/или заключений технических экспертиз, убедительно доказывающих ненадежность контроля функций автомобиля при названных условиях. Изготовитель может также запросить отключение системы OBD при других температурах окружающей среды, господствующих при запуске двигателя, если на основании представленных данных и/или заключений технических экспертиз он сможет доказать, что при этих условиях диагностика может выдавать неверные результаты.

9.2.5. Стандартизированный интерфейс OBD

В качестве стандартизированного интерфейса OBD (рис. 9.4) используется 16-контактный штекерный разъем. В этом разьеме стандартизованы и геометрическая форма, и размеры, и распределение контактов. Этот диагностический разъем является интерфейсом между автомобильной электроникой и устройством считывания неисправностей, так называемого **Scan Tool**. Передаваемые данные одинаковы для всех автомобилей, но изготовители не смогли договориться о едином протоколе передачи.

Для обмена данными между диагностическим тестером и автомобильной электроникой утверждены следующие виды связи.

Связь по ISO 9141-2

Используется европейскими изготовителями с медленной скоростью передачи данных (5 бит/с).

Связь по ISO 14230-4 (допускается KWP 2000; KWP — Key Word Protocol)

Используется европейскими и азиатскими изготовителями. Его также использует Chrysler.

Связь по SAE J 1850

Используется американскими изготовителями. Особенно для автомобилей General Motors и легких грузовиков.

Связь по ISO/DIS 15765-4

Диагностика на CAN — шине.

Стандартизированный интерфейс OBD должен находиться в салоне и расположен так, чтобы он был легко доступен с водительского сиденья и был защищен от использования не по назначению.

Большая часть диагностических разъемов находится под панелью приборов, в области рулевой колонки или центральной консоли. Конкретное положение интерфейса можно найти во многих системах диагностики двигателя и соответствующей документации изготовителя.

Распределение контактов интерфейса OBD

Контакты 7 и 15 зарезервированы для обмена данными по ISO 9141-2 для диагностики системы управления двигателем и составом ОГ.

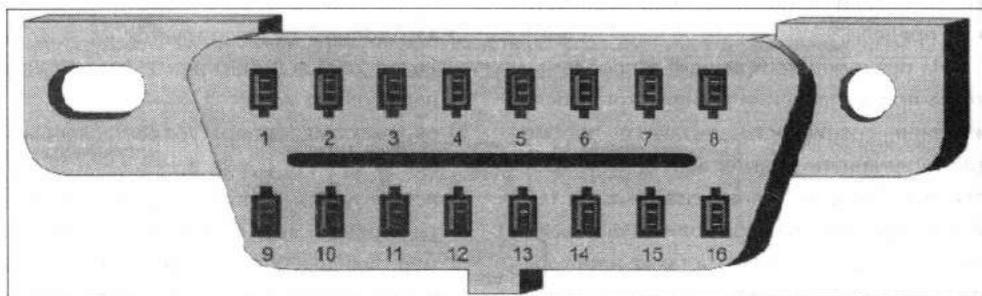


Рис. 9.4. Диагностический разъем (розетка CARB)

Контакты 2 и 10 — для обмена данными по ISO SAE J 1850.

Контакт 4 — «масса» (кузов).

Контакт 5 — сигнал «массы».

Контакт 16 — «плюсовая» клемма АКБ.

Контакт 6 — CAN HIGH.

Контакт 14 — CAN LOW.

Контакты 1, 3, 8, 9, 11, 12, 13 — нераспределенные контакты OBD. Эти контакты могут использоваться/используются изготовителями для внутренней системной и автомобильной диагностики, например ABS, ASR, КПП, подушки безопасности

9.2.6. Подключение к интерфейсу OBD

Процесс проверки считанных неисправностей изображен на рис. 9.5. Для считывания неисправностей через стандартизированный диагностический интерфейс служит тестер, так называемый **Scan-Tool**. Это устройство с дисплеем, с помощью которого можно считывать коды из регистратора событий

системы OBD. Согласно ISO 15031-4 тестер должен автоматически распознавать тип передачи данных и установленную систему управления двигателем. Функционал тестера не должен быть привязан к определенным условиям изготовителя, он должен быть универсально пригоден к использованию в любом автомобиле. Обязательным условием является наличие стандартизированного протокола передачи данных и стандартизированного списка кодов неисправностей. Для OBD утверждено 9 режимов проверки. Из них 5 режимов касаются проверки токсичности ОГ. Вместо специального тестера Scan-Tool можно также использовать соответственно оснащенный тестер двигателя или ноутбук с дополнительной картой (например Bosch KTS 550, рис. 9.6).

При правильном подключении тестера у диагностических разъемов CARB и у разъемов многих изготовителей электропитание на тестер подается через сам диагностиче-

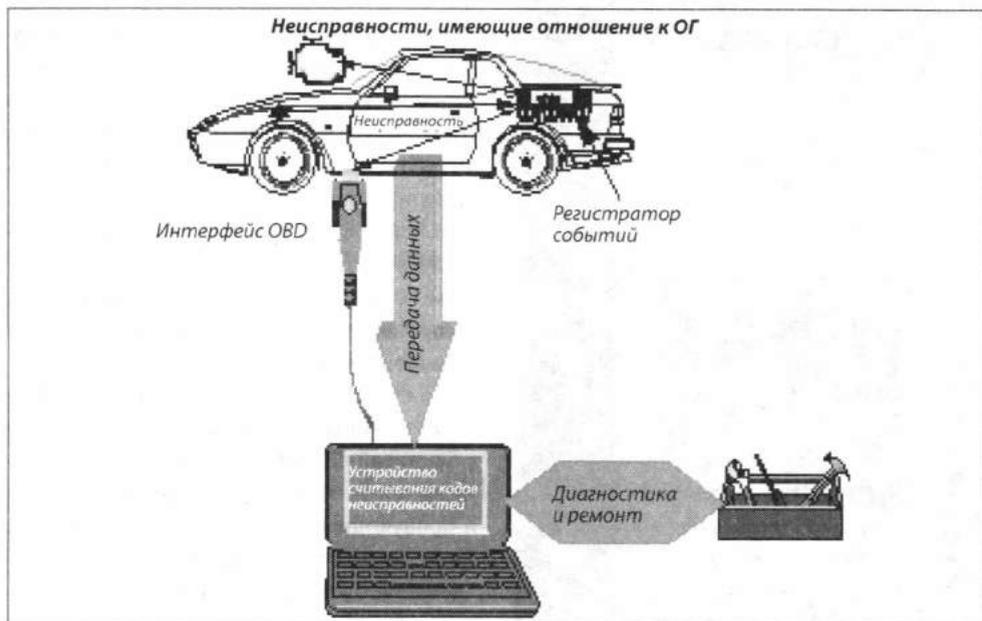


Рис. 9.5. Общий процесс проверки у систем OBD

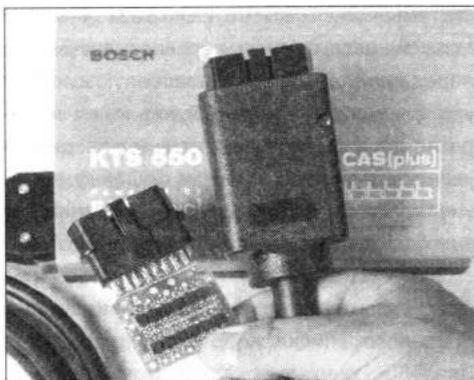


Рис. 9.6. Считывающее устройство OBD KTS 550



Рис. 9.7. Диагностический прибор FSA 740

ский разъем. Проблемы с электропитанием возникают тогда, когда аккумуляторная батарея недостаточно заряжена или при запуске двигателя кратковременно сильно падает напряжение. В этом случае уровень напряжения находится ниже предельно допустимого для тестера.

При выполнении определенных этапов проверки или у специальных ЭБУ подвода электропитания через диагностический разъем оказывается недостаточно. По этой причине тестер следует всегда подключать к внешнему источнику питания. У некоторых ЭБУ некоторые функции могут выполняться только при определенных условиях работы. Если ЭБУ не находится в требуемом состоянии, то связь прерывается. В этом случае программу проверки нужно запустить заново и в точности соблюдать указания по отдельным этапам проверки.

Однако для еще более эффективной диагностики автомобиля и анализа неисправностей на СТО требуется нечто большее, чем просто считывание кодов системы OBD с помощью тестера Scan-Tool. С помощью диагностических интерфейсов и регистратора событий новые диагностические тестеры позволяют достаточно хорошо локализовать причины проблем. Пример системы с очень высокой эффективностью и производительностью — Bosch FSA 740 (рис. 9.7). У этой системы с помощью генератора сигналов можно проверять датчики, в том числе провода и разъемы во встроенном состоянии. Можно физически проверять также быстрые CAN — шины. Мультиметр и осциллограф с частотой 50 МГц позволяют проводить различные проверки отдельных деталей и полную диагностику блоков управления. Возможно дооснащение до станции комплексной проверки ОГ. Ценной для интерпретации результатов измерений является также возможность записи сравнительных

кривых в системе и при необходимости наложения их на кривую, измеренную в автомобиле. Хорошие измерительные кривые можно сохранять в памяти для использования в будущем. На их основе СТО может сформировать свою собственную базу данных. Комплексное программное оснащение на различных стадиях расширения заданными значениями, электрическими схемами и различными системами диагностики ЭБУ обеспечивает покрытие около 95 % всего автомобильного рынка.

9.3. Систематика кодов неисправностей OBD

Коды неисправностей OBD стандартны для всех автомобилей и состоят из 5 знаков. Они регламентируются стандартами ISO 15031-6 и SAE J2012. Коды делятся на независимые от изготовителя (P0) и зависимые от изготовителя (P1, P2, P3). Формирование кода происходит по единой схеме. В приведенном ниже примере показана систематика кодов неисправностей.

Пример кода неисправности **P0267** (по ISO 15031-6 и SAE J2012).

- 1-я позиция:
 - P — привод;
 - B — кузов;
 - C — ходовая часть;
 - U — шины.
- 2-я позиция:
 - 0 — независимый от изготовителя код (законодательно предписанный);
 - 1 — собственный код изготовителя (не предписанный законодательно);
 - 2 — собственный код изготовителя (не предписанный законодательно);
 - 3 — не определено (собственный код или SAE J2012).

- 3-я позиция:
 - 2 — неисправность конкретного узла (в примере — дозирование топлива и воздуха).
- 4-я и 5-я:
 - 67 — какая неисправность возникла? Какая деталь позиции затронута? (В примере — расход топлива в 3-м цилиндре очень маленький).

По 3-й позиции у кодов **P0** выделяются следующие группы неисправностей.

Группа неисправностей	Базовый код неисправности P0
Дозирование топлива и воздуха	P01XX
Дозирование топлива и воздуха	P02XX
Система зажигания и сбой сгорания	P03XX
Дополнительные системы для уменьшения выбросов	P04XX
Система регулировки скорости и холостых оборотов	P05XX
Компьютер и его выходные сигналы	P06XX
КПП и блок управления КПП	P07XX
КПП и блок управления КПП	P08XX
Код готовности	P1000

В списке кодов **P0** (в таблице 9.3 приведена выдержка из него) числится более 700 кодов OBD. Этот список можно найти в Приложении к книге. В списке уже сейчас имеются коды неисправностей, для которых пока нет датчиков, готовых к серийному выпуску. Отдельные коды неисправностей у разных производителей не всегда сравнимы между собой и часто могут быть считаны только собственными тестерами.

Таблица 9.3. Выдержка из перечня кодов неисправностей (по SAE J2012 и ISO 15 031-6)

Код неисправности	Функционирование	Тип неисправности
P0070	Датчик температуры окружающего воздуха	нарушение работы
P0071	Датчик температуры окружающего воздуха	вне номинального диапазона
P0072	Датчик температуры окружающего воздуха	слишком слабый сигнал
P0073	Датчик температуры окружающего воздуха	слишком сильный сигнал
P0074	Датчик температуры окружающего воздуха	спорадическая неисправность
P0100	Объемный/массовый расходомеры воздуха	нарушение работы
P0102	Объемный/массовый расходомеры воздуха	слишком слабый сигнал
P0103	Объемный/массовый расходомеры воздуха	слишком сильный сигнал
P0104	Объемный/массовый расходомеры воздуха	спорадическая неисправность
P0130	Лямбда-зонд, ряд 1, датчик 1	нарушение работы
P0131	Лямбда-зонд, ряд 1, датчик 1	низкое напряжение
P0132	Лямбда-зонд, ряд 1, датчик 1	высокое напряжение
P0133	Лямбда-зонд, ряд 1, датчик 1	замедленная реакция
P0134	Лямбда-зонд, ряд 1, датчик 1	неактивен
P0135	Цепь обогрева лямбда-зонда, ряд 1, датчик 1	нарушение работы
P0200	Форсунка	нарушение работы
P0201	Форсунка цилиндр 1	нарушение работы
P0202	Форсунка цилиндр 2	нарушение работы
P0217	Допустимая температура охлаждающей жидкости	превышена
P0218	Допустимая температура масла в КПП	превышена
P0219	Максимально допустимые обороты двигателя	превышены
P0301	Цилиндр 1	распознан пропуск зажигания
P0302	Цилиндр 2	распознан пропуск зажигания
P0303	Цилиндр 3	распознан пропуск зажигания
P0400	Рециркуляция ОГ	нарушение работы
P0401	Рециркуляция ОГ	слишком малое количество
P0402	Рециркуляция ОГ	слишком большое количество
P0403	Рециркуляция ОГ (клапан или выходной каскад)	нарушение работы
P0404	Рециркуляция ОГ	вне номинального диапазона
P0500	Датчик скорости движения	нарушение работы
P0501	Датчик скорости движения	вне номинального диапазона
P0502	Датчик скорости движения	слишком слабый сигнал
P0700	КПП, система регулировки	нарушение работы
P0701	КПП, система регулировки	вне номинального диапазона
P0702	КПП, система регулировки	электрическая неисправность

9.3.1. Данные Freeze Frame

Данные Freeze Frame — это данные об окружающей обстановке, определяющие и «замораживающие» условия работы двигателя в момент регистрации неисправности. Они служат инструкциями для СТО по диагностике и устранению неисправностей. Становится проще оценивать неисправности и быстрее осознавать их последствия.

При выявлении первой неисправности какой-либо детали или системы в регистраторе системы OBD должны быть записаны условия работы двигателя на этот момент (данные Freeze Frame). Если впоследствии возникнет неисправность в топливной системе или неисправность в виде сбоя сгорания, то ранее записанные данные Freeze Frame будут заменены соответствующими данными об условиях, преобладающих на момент появления первой неисправности. Возможна дополнительная запись «старых» данных Freeze Frame. Для записи нужно выбирать по возможности такие данные, которые могут оказаться полезными при последующем ремонте. Должен быть сохранен, как минимум, один набор данных Freeze Frame, который можно считать универсальным тестером Scan Tool. Сохраняемые данные об условиях работы двигателя должны включать в себя, как минимум, следующую информацию:

- определенная компьютером нагрузка на двигатель;
- обороты двигателя;
- параметры регулировки смеси;
- давление топлива;
- скорость автомобиля;
- температура охлаждающей жидкости;
- давление во впускном трубопроводе;
- значения лямбда-регулирования;
- код неисправности, активация которого инициировала запись рабочих параметров.

При удалении кода-инициатора можно также удалить сохраненные рабочие параме-

тры двигателя. Дополнительно к обязательным данным Freeze Frame (при наличии или доступности в качестве информации бортового компьютера) должна обеспечиваться возможность считывания следующих данных:

- код неисправности OBD;
- состояние топливной системы (регулируемый или нерегулируемый режим);
- регулирование опережения зажигания;
- температура всасываемого воздуха;
- давление во впускном трубопроводе;
- расход воздуха;
- выходные сигналы потенциометра дроссельной заслонки;
- состояние системы впуска добавочного воздуха.

При этом истинные измеренные значения должны четко отличаться от фиксированных значений или значений для аварийного режима. Все системы, для которых проводятся специальные бортовые проверки (за исключением систем, распознающих сбой сгорания, контролирующих топливную систему и предназначенных для общего контроля компонентов) должны обеспечивать возможность считывания результатов последней проверки автомобиля и предельных значений, лежащих в основе проверки системы. Это требование выполняет код готовности.

9.3.2. Код готовности

Код готовности (Readiness Code) представляет собой 12-значный двоичный код (0 или 1), имеющийся у всех автомобилей. Этот код показывает готовность системы к проверке. Он позволяет узнать, все ли проверки системы были проведены. Каждая позиция кода соответствует проверяемой системе (таблица 9.4). Если позиция в коде равна 1, значит, соответствующая система еще не завершила цикл проверки. Если позиция в коде равна 0, значит система завершила цикл проверки

Таблица 9.4. Обзор испытаний на готовность к проверке (В – непрерывный контроль; С – эпизодический контроль)

Код готовности	Поле данных	Система	Код готовности	Поле данных	Система
0	В	Не используется, всегда 0	6	С	Лямбда-зонды
1	В	Компоненты в целом	7	С	Кондиционер
2	В	Топливная система	8	С	Система впуска добавочного воздуха
3	В	Пропуски зажигания	9	С	Система вентиляции топливного бака
4	С	Система рециркуляции ОГ	10	С	Обогрев катализатора
5	С	Обогрев лямбда-зонда	11	С	Катализатор(ы)

или не установлена в автомобиле. Последняя позиция в коде готовности (12) всегда равна 0. Некоторые диагностические тестеры не отображают ее на дисплее. Код готовности считывается справа налево.

До 2002 года код готовности можно было хранить в энергозависимом запоминающем устройстве. При отключении электропитания (замена батареи, отсоединение ЭБУ и пр.) данные в памяти стирались и все позиции выставлялись на 1. Проверку готовности системы нужно было проводить заново, что требовало большого объема дополнительных работ или прохождения циклов движения. Начиная с 2003 модельного года код готовности не должен стираться при сбое питания.

Если к моменту диагностики системы готовность к проверке еще не будет обеспечена, то для подтверждения функционирования системы используется сигнал лямбда-зонда. Тестер OBD автоматически выполняет проверку функционирования управляющего зонда по инструкциям изготовителя. Для этого автопроизводители должны указать номинальные значения по проверке работы установленного управляющего зонда. У скачковых лямбда-зондов — это мини-

мально достигаемый скачок напряжения при контрольной частоте вращения.

У широкополосных лямбда-зондов изготовитель должен указать либо номинальный ток в мА либо опорное напряжение в вольтах либо вычисленное блоком управления значение лямбда.

При проверке токсичности ОГ требуется, к примеру, автоматически создаваемое соединение между тестером и прибором для проверки токсичности ОГ. Считывающий прибор должен автоматически выбирать режим **Mode 01** системы OBD. Фактические значения системы передаются на контрольный прибор прямо с тестера через интерфейс OBD по проводу для передачи данных. Это исключает манипуляции и ошибки. Результат считывания кодов из регистратора событий может быть проанализирован и обработан непосредственно контрольным прибором. Некоторые системы контролируются постоянно сразу после запуска двигателя, другие системы контролируются лишь эпизодически, при определенных условиях работы. Современные диагностические системы часто выдают код готовности в текстовом виде.

Пример кода готовности показан на рис. 9.8.

У автомобилей с дизельным двигателем и D-OBD код готовности имеет то же распределение позиций, что и у бензиновых двигателей. Однако из-за отсутствия лямбда-зондов и не контролируемого катализатора по этим позициям всегда значится 0. Поэтому количество возможных активизированных позиций кода меньше, чем у автомобилей с бензиновыми двигателями.

Пример кода готовности

На рис. 9.9 показано сравнение двух систем — готовой и не готовой к проверке. Чтобы быстро распознать, какие системы установлены, выдается второй дополнительный код. Верхний ряд кода указывает количество фактически установленных систем в автомобиле. На левом рисунке установлено восемь систем, проверка которых еще не завершена. Автомобиль пришлось бы подготовить к проверке, выполнив пробную поездку с длительным проездом определенных рабочих точек. Чтобы избежать этого, изготовители предписывают сокращенный цикл движения, при котором проезд рабочих точек выполняется в сокращенном виде по завершении готовности к проверке. Состояние кода готовности слева показывает недостигнутую, а справа — достигнутую готовность к проверке. Таким образом, с правой стороны показана система, готовая к проверке. Все коды обнулены (0). Однако выводы



Рис. 9.8. Пример кода готовности

Значение:

- 1-я позиция 0 — не используется
- 2-я позиция 1 — компоненты в целом, не проверено;
- 3-я позиция 0 — топливная система, проверено или не установлено;
- 4-я позиция 1 — сбой сгорания, не проверено;
- 5-я позиция 1 — рециркуляция ОГ, не проверено;
- 6-я позиция 0 — обогрев лямбда-зонда, проверено или не установлено;
- 7-я позиция 0 — лямбда-зонд, проверено или не установлено;
- 8-я позиция 0 — кондиционер, проверено или не установлено;
- 9-я позиция 0 — система впуска добавочного воздуха, проверено или не установлено;
- 10-я позиция 1 — система вентиляции топливного бака, не проверено;
- 11-я позиция 0 — обогрев катализатора, проверено или не установлено;
- 12-я позиция 1 — катализатор, не проверено.

о возможных неисправностях в системе сделать нельзя. Для этого нужно считать коды из регистратора событий. Если код отображает еще не проверенные узлы, то оценка системы путем считывания кодов будет пока что невозможна. В регистраторе событий записаны еще не все возможные неисправности. Если при проверке токсичности ОГ готовность к проверке не достиг-

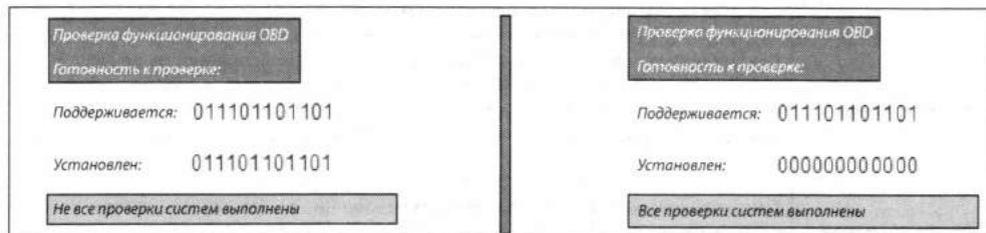


Рис. 9.9. Сравнение кодов готовности систем к проверке

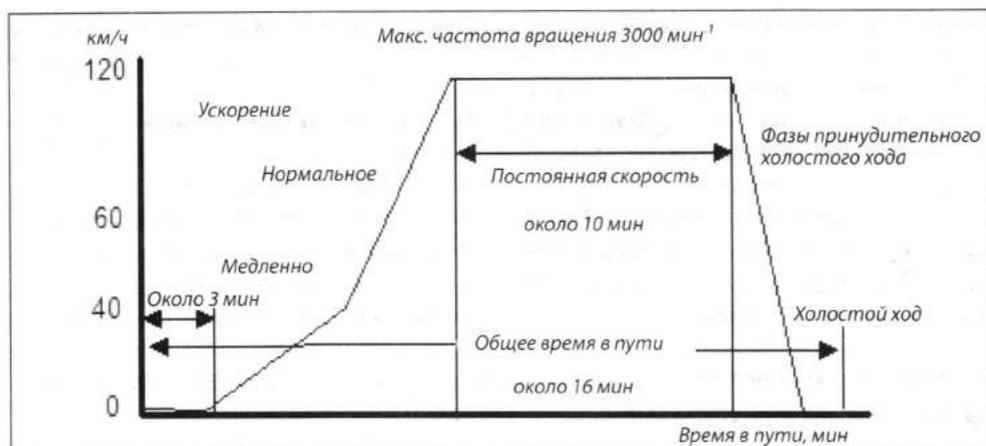


Рис. 9.10. Пример цикла движения для достижения готовности к проверке

нута, то для подтверждения работоспособности системы можно использовать сигнал лямбда-зонда со сравнением заданных значений с фактическими.

Если для достижения готовности к проверке нужно проехать сокращенный цикл, то перед началом пробной поездки нужно зарегистрировать эту процедуру в ЭБУ через диагностическую систему (рис. 9.10).

9.4. Объем функций уровней проверки в OBD

Информацию ЭБУ OBD можно считывать на 9 уровнях проверки (режимы проверки 1–9) (таблица 9.5). Принцип работы и формат данных для девяти режимов проверки регламентируются стандартами ISO 15031–5 и SAE J2190. Не все диагностические системы разрешают

Таблица 9.5. Обзор доступных режимов проверки

Режим проверки	Функция, индикация, состояние
Режим проверки 1	<ul style="list-style-type: none"> • Считывание диагностических значений системы, имеющих отношение к ОГ. • Считывание фактических данных системы. • Информация о состоянии: <ul style="list-style-type: none"> • фактические расчеты (например, момент зажигания, длительность впрыска); • аналоговые данные ввода и вывода (например, температура двигателя); • цифровые данные ввода и вывода (например, регулятор холостого хода, переключатель дроссельной заслонки)
Режим проверки 2	<p>Считывание условий работы в момент регистрации неисправности, имеющей отношение к ОГ (данные об окружающих условиях).</p> <p>Эти данные об окружающих условиях называют данными Freeze Frame. (Обороты двигателя, нагрузка на двигатель, температура двигателя, положение дроссельной заслонки и т. п.)</p>
Режим проверки 3	<p>Считывание неисправностей, имеющих отношение к ОГ, которые вызвали активацию индикатора MIL. Основой является определенный список кодов согласно ISO 15 031-6</p>

Режим проверки	Функция, индикация, состояние
Режим проверки 4	<ul style="list-style-type: none"> Удаление всех кодов неисправностей, имеющих отношение к ОГ и обнуление данных Freeze Frame. Селективное удаление кодов невозможно и не допускается стандартом
Режим проверки 5	<ul style="list-style-type: none"> Выдача данных последней проведенной проверки лямбда-зонда. Индикация протекания сигналов, измеренных значений и данных проверки лямбда-зонда
Режим проверки 6	Индикация измеренных значений не постоянно контролируемых систем, таких как, например, ЭБУ КПП или кондиционер
Режим проверки 7	Инициация кодов неисправностей, (еще) не приводящих ко включению индикатора MIL
Режим проверки 8	<ul style="list-style-type: none"> Индикация состояния функции проверки OBD. Можно проводить целенаправленные проверки и диагностику исполнительных органов. Проверка систем или деталей после удаления кодов из регистратора событий завершена / не завершена. <p>Внутренняя проверка работы всех функций контроля должна быть завершена к моменту считывания кодов из регистратора событий. Могут потребоваться и масштабные пробные поездки (см. код готовности)</p>
Режим проверки 9	<p>Индикация специальной информации об автомобиле:</p> <ul style="list-style-type: none"> VIN-номер (Vehicle Identification Number), идентификационный номер автомобиля; номера двигателя, КПП; комплектация автомобиля и спецификации модели; версия ЭБУ, ПО; CIN-номер (Calibration Identification Number), идентификатор калибровки; CVN-номер (Calibration Verification Number), проверочный номер калибровки

каждый режим. Часто режимы 6, 8 и 9 доступны лишь для собственных диагностических систем. Одна диагностическая система может всегда отображать и предоставлять лишь те данные, которые предоставляются автомобилем.

Функции в рамках всех режимов проверки имеют единую классификацию, а в рамках одного режима определенные функции обозначаются идентификатором параметра (PID) или идентификатором проверки (TID). Некоторые режимы не имеют дополнительных идентификаторов. К примеру, режим 3 не имеет других идентификаторов параметра. Не все PID полностью поддерживаются каждым ЭБУ. Диагностическая система всегда сначала запрашивает количество имеющихся кодов в режиме проверки 1 с PID 01 и в ответ получает количество записанных неисправностей.

Может быть до 256 идентификаторов PID.

PID 04 — значение, вычисляемое блоком управления с применением стандартных значений.

В некоторых системах понятие «лямбда-интегратор» также называют **кратковременной корректировкой впрыска**, а понятие «лямбда-адаптация» — **долговременной корректировкой впрыска**.

Режим проверки 4 не имеет дополнительных PID. В этом режиме удаляются или обнуляются следующие данные:

- количество записанных кодов неисправностей (режим 1 PID 01);
- состояние проверки системы (режим 1 PID 01);
- пробег с момента включения MIL (режим 1 PID 21);

- количество циклов прогрева с момента удаления кодов неисправностей (режим 1 **PID 30**);
- пробег с момента удаления кодов неисправностей (режим 1 **PID 31**);
- режим работы двигателя с момента включения MIL (режим 1 **PID 4D**);
- время с момента удаления кодов неисправностей (режим 1 **PID 4E**);
- код неисправности для данных Freeze Frame (режим 2 **PID 02**);
- данные Freeze Frame (режим 2);
- коды неисправности (режим 3);
- данные о проверке лямбда-зондов (режим 5);
- результаты проверки бортовой диагностики (режимы 6 и 7).

Так как при удалении кодов удаляются и другие данные (например, данные Freeze Frame), то выполняется контрольный опрос пользователя. Выборочное удаление кодов невозможно и не допускается стандартом. Информативная проверка всей системы возможна только после прогона всех диагностических функций системы. Должна быть обеспечена готовность системы к проверке, т.е. все коды го-

товности установленных систем должны быть с 0. Таким образом, сначала нужно проехать все рабочие точки, в которых активируются функции проверки. После удаления кодов из регистратора событий могут потребоваться масштабные пробные поездки. Если определенные функции проверки не были активизированы, то система выдаст сообщение «Проверка системы не выполнена».

С помощью собственных диагностических систем отдельных автопроизводителей можно считывать уровни проверки, относящиеся к автомобилю. Этот расширенный объем диагностики касается также областей и узлов электроники, не имеющих отношения к ОГ и, соответственно, не требуемых системой OBD.

В режиме проверки 5 отображаются только значения лямбда-зондов, также зарегистрированные и в режиме 1. Значения идентификатора проверки (TID) всегда соответствуют определенному лямбда-зонду (например, ряд 1 — зонд 1 или ряд 2 — зонд 1). Отдельным TID можно сопоставить диапазоны номинальных значений. Для выдачи в режиме 5 идентификаторы TID были утверждены согласно таблице 9.6.

Таблица 9.6. Значения для проверки лямбда-зонда

Шести-значный код TID	Значение лямбда	Значение	Диапазон значений
01	Пороговое напряжение перехода с богатой смеси на бедную, В	Постоянно	0 - 1,275
02	Пороговое напряжение перехода с бедной смеси на богатую, В	Постоянно	0 - 1,275
03	Нижнее напряжение для расчета времени переключения, В	Постоянно	0 - 1,275
04	Верхнее напряжение для расчета времени переключения, В	Постоянно	0 - 1,275
05	Время переключения с богатой смеси на бедную, с	Расчетное	0 - 1,02
06	Время переключения с бедной смеси на богатую, с	Расчетное	0 - 1,02
07	Минимальное испытательное напряжение, В	Расчетное	0 - 1,275
08	Максимальное испытательное напряжение, В	Расчетное	0 - 1,275
09	Время между двумя переходами, с	Расчетное	0 - 1,02

10. СИСТЕМА OBD В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

10.1. Основная конструкция системы OBD

Техника систем OBD базируется на известных техническом функционале и элементах современных систем с впрыском топлива. Принципиальная схема системы OBD изображена на рис. 10.1. Дополнительные детали OBD обозначены на рисунке буквами. Не в каждой системе OBD обязательно должны быть все изображенные датчики.

ЭБУ OBD непрерывно выполняет проверку систем. Неисправные детали управляющей электроники и программные ошибки распознаются и записываются в регистратор событий. Для этого сигналы датчиков, управляющие команды и реакция системы постоянно проверяются на правдоподобность и сравниваются с записанными в память значениями. С помощью определенных запрограммированных операций проверки электроника анализирует сигналы различных датчиков, оценивает и сравнивает фактические результаты. При возникновении значительных отклонений от номинала выдается сообщение о неисправности посредством включения сигнальной лампы. Неисправность и усло-

вия эксплуатации при ее возникновении записываются в память.

В системах E-Gas регулятор оборотов холостого хода (деталь 12) заменен дроссельной заслонкой с электроприводом и электронной педалью газа. Вместо клапана AGR с пневмоприводом (детали 14 и 15) все больше используются клапаны AGR с электроприводом.

Деталь С — датчик вертикальных ускорений (неровной дороги) — устанавливается редко (в основном у вседорожников), поскольку неравномерность вращения коленвала проще определить другими способами. В предписаниях и стандартах регламентированы минимальное количество контролируемых систем и узлов, имеющие отношение к ОГ. Конкретная техническая реализация и технология контроля и проверки систем не всегда регламентируется стандартами. Изготовители могут пойти разными, часто своими путями в поиске решений по контролю конкретной системы. Ниже проиллюстрированы варианты контроля систем с разными, часто используемыми на практике решениями. В зависимости от изготовителя и типа автомобиля возможны отклонения или другие технические варианты.

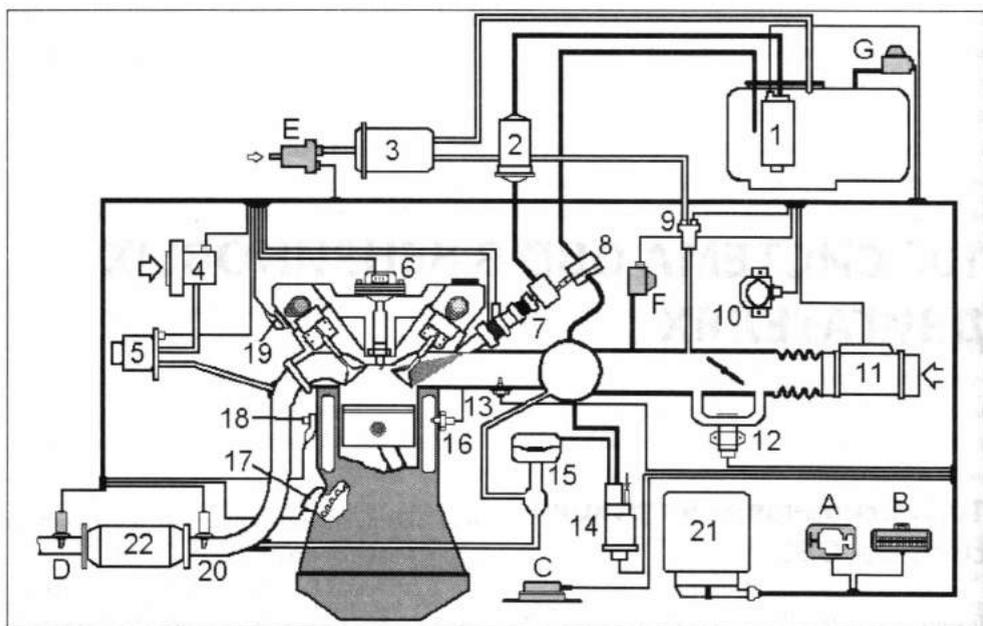


Рис. 10.1. Принципиальная схема системы OBD

- | | |
|--|--|
| A Индикатор неисправностей (MIL) | 10. Датчик положения дроссельной заслонки |
| B Интерфейс OBD (диагностический интерфейс) | 11. Датчик массового расхода воздуха |
| C Датчик неровной дороги | 12. Регулятор холостого хода |
| D Диагностический лямбда-зонд | 13. Датчик температуры всасываемого воздуха |
| E Клапан вентиляции топливного бака | 14. Регулятор давления AGR |
| F Датчик давления во впускном коллекторе | 15. Клапан AGR |
| G Датчик дифференциального давления | 16. Датчик температуры охлаждающей жидкости |
| 1. Топливный насос | 17. Датчик частоты вращения коленчатого вала |
| 2. Топливный фильтр | 18. Датчик детонации |
| 3. Адсорбер с активированным углем | 19. Датчик фазы (положения распределительного вала) |
| 4. Насос добавочного воздуха | 20. Управляющий лямбда-зонд |
| 5. Клапан добавочного воздуха | 21. ЭБУ OBD |
| 6. Катушка зажигания | 22. Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор |
| 7. Форсунка | |
| 8. Регулятор давления топлива | |
| 9. Запорный клапан вентиляции | |

10.2. Распознавание пропусков зажигания

Из-за пропусков зажигания несгоревшая топливно-воздушная смесь попадает в катализатор и может привести к термическому

разрушению катализатора. Термические повреждения может получить и лямбда-зонд. Выбросы углеводородов значительно возрастают. При возникновении пропусков зажигания возникает и неравномерность вращения коленвала; на нем возникает разный

крутящий момент. Для распознавания пропусков зажигания используются различные методы анализа. Анализ пропусков зажигания выполняется селективно по отдельным цилиндрам с помощью датчика частоты вращения коленвала. При выходе этого датчика из строя работа двигателя невозможна.

10.2.1. Метод неплывности хода

При этом методе пропуски зажигания распознаются по результатам расчета угловой скорости коленчатого вала и возможной соответствующей неплывности хода. По моменту зажигания или сигналу датчика положения распределительного вала система управления двигателем распознает, в каком цилиндре имеет место неплывность хода. При возникновении пропусков зажигания может быть прерван впрыск топлива в соответствующий цилиндр или цилиндры. Если за заданное количество оборотов коленчатого вала возникает несколько пропусков зажигания, которые могут привести к повреждению катализатора или повышению выбросов, загорается индикатор неисправностей (MIL). Неисправность и данные об окружающих условиях на момент ее появления (Freeze Frame) записываются в регистратор событий.

Неравномерность вращения, вызванная допусками изготовления, устраняется путем постоянной адаптации системы и сравнения с предельными значениями. При определенных условиях эксплуатации, таких как режим принудительного холостого хода, вмешательство в зажигание внешних систем — регулирования по детонации и ASR или при очень быстрой смене нагрузок, система не реагирует. Неравномерность вращения, возникающая из-за грубых неровностей дороги, можно распознать с помощью датчика ускорения кузова (деталь С). Для распознавания плохой дороги можно также исполь-

зовать сигналы датчиков скорости вращения ведущих колес.

Для распознавания неравномерности вращения с помощью индуктивного датчика частоты вращения и базисной метки на коленчатом валу определяется частота вращения, угловая скорость и положение коленчатого вала. Система (рис. 10.2) включает в себя соединенный с коленчатым валом зубчатый обод (например, шкив или маховик), называемый **задающим колесом**. Задающее колесо поделено на сектора соответственно количеству цилиндров и интервалу зажигания цилиндров. Время, необходимое каждому сектору на один проход, служит для распознавания возникающих пропусков зажигания. Пропуски зажигания вызывают изменение ускорения поршней и, как следствие, неравномерность вращения коленчатого вала в пределах нескольких миллисекунд. Управляющая электроника распознает это изменение времени за проход одного сектора, и при превышении запрограммированных предельных значений регистрируется неисправность.

Возникающая неплывность хода (рис. 10.3) составляет миллисекунды. В этом примере

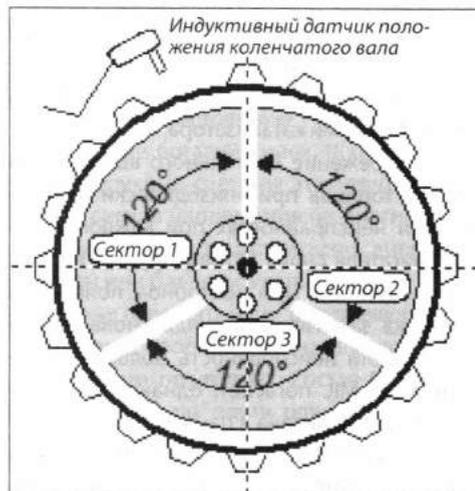


Рис. 10.2. Задающее колесо

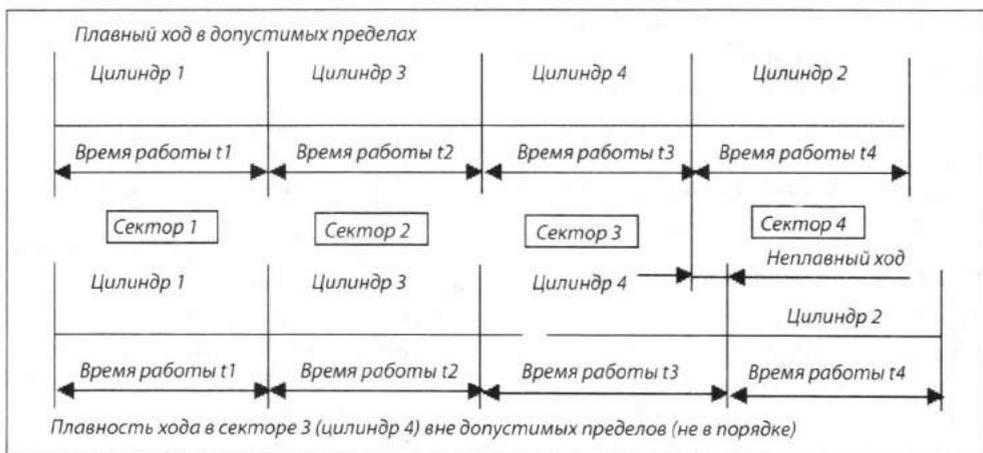


Рис. 10.3. Распознавание неплавности хода

4-й цилиндр является причиной неплавности хода. Система постоянно проверяет процент пропусков зажигания через установленные интервалы измерения (например, 1000 оборотов коленчатого вала). Превышение концентрации СН в 1,5 раза соответствует более 2% или 20 пропускам зажигания. При превышении этого значения идентифицируется соответствующий цилиндр, и при повторном обнаружении неплавности хода в следующем интервале считывания регистрируется неисправность и загорается MIL. Система подачи топлива в цилиндр выключается, когда процент пропусков зажигания начинает угрожать повреждениями катализатора.

Во избежание длительного выключения подачи топлива при эпизодически появляющихся неисправностях при каждом запуске двигателя снова активизируется впрыск в этот цилиндр. При повторном появлении пропуска зажигания цилиндр вновь отключается. Если неисправность больше не появится, то MIL погаснет; однако неисправность будет записана в память.

При следующих условиях постоянный контроль пропусков зажигания может быть выключен:

- активизирован резерв топлива;
- двигатель работает в режиме принудительного холостого хода;
- сильно колеблющееся положение педали газа;
- нестабильные рабочие состояния;
- вмешательство или активизация регулирования по детонации;
- активизация систем управления динамикой движения (ASR или ESP);
- изменения скорости вращения в трансмиссии из-за плохой дороги.

10.2.2. Метод анализа момента

Метод анализа момента, как и метод неплавности хода, служит для распознавания пропусков зажигания селективно по отдельным цилиндрам в зависимости от сигналов датчика частоты вращения коленчатого вала, датчика положения распределительного вала или момента зажигания. Различие между этими методами состоит в оценке сигналов. Метод анализа момента сравнивает неравномерность частоты вращения с фиксированными расчетами в ЭБУ. Основой этих расчетов являются зависимый от нагрузки и оборотов крутящий момент, инерционная

масса и соответствующие обороты двигателя. Последние должны анализироваться для каждого типа двигателя и записываются в ЭБУ в качестве сравнительной величины.

Основной принцип этого анализа состоит в том, что в фазе сжатия кинетическая энергия двигателя расходуется на сжатие топливно-воздушной смеси. В результате обороты двигателя немного понижаются. Затем происходит зажигание, и обороты двигателя слегка возрастают из-за ускорения поршня. При каждом сгорании происходит небольшое колебание оборотов между тактом сжатия и рабочим тактом.

При рассмотрении всех цилиндров двигателя колебания оборотов двигателя накладываются друг на друга, и получается итоговая характеристическая кривая частоты вращения. Эта кривая определяется датчиком оборотов и контролируется в ЭБУ путем сравнения с сохраненными характеристическими кривыми. При выходе значений за допустимые пределы загорается индикатор неисправностей MIL и регистрируется неисправность.

10.3. Контроль работы катализатора

Катализаторы — важнейшие детали современных систем очистки ОГ бензиновых двигателей. Постоянный контроль функционирования — одно из основных требований к системе OBD. Контроль функционирования происходит лишь опосредованно, поскольку пока еще нет готовых к серийному выпуску датчиков, измеряющих концентрацию вредных веществ в ОГ напрямую. Путем использования второго лямбда-зонда, называемого также **диагностическим датчиком**, за катализатором и сравнения амплитуд сигналов

управляющего и диагностического зондов система распознает возможные неисправности катализаторов. Оба лямбда-зонда могут иметь идентичную конструкцию. Диагностический зонд в меньшей степени подвержен старению и нагрузкам и поэтому его можно использовать в качестве задающего регулятора лямбда-регулирующего. Этот метод также называют «методом двойного лямбда-зонда».

Катализатор считается неисправным при превышении предельного значения СН в 1,5 раза. Контроль функции катализатора выполняется эпизодически, один раз за цикл движения.

Базой этого косвенного контроля служит способность материала катализатора к накоплению кислорода. Новые катализаторы способны накапливать большое количество кислорода. Прохождение сигнала у диагностического зонда слегка смещено по фазе по отношению к сигналу управляющего зонда из-за времени прохождения ОГ через катализатор. Из-за постоянного изменения состава смеси изменяется и концентрация кислорода в ОГ. Способность катализатора накапливать кислород смягчает эти изменения, в результате на диагностическом зонде у исправного катализатора почти не фиксируются изменения (рис. 10.4). Напряжение зонда имеет фактически постоянную характеристику в диапазоне богатой смеси. В зависимости от конструкции системы этот почти постоянный сигнал напряжения на диагностическом зонде может находиться в диапазоне богатой или бедной смеси.

У неисправного или состарившегося катализатора способность накапливать кислород почти отсутствует. Состав ОГ на обоих лямбда-зондах почти одинаков. Сигналы обоих лямбда-зондов почти идентичны, если не считать небольшого фазового смещения, обусловленного временем образования сме-

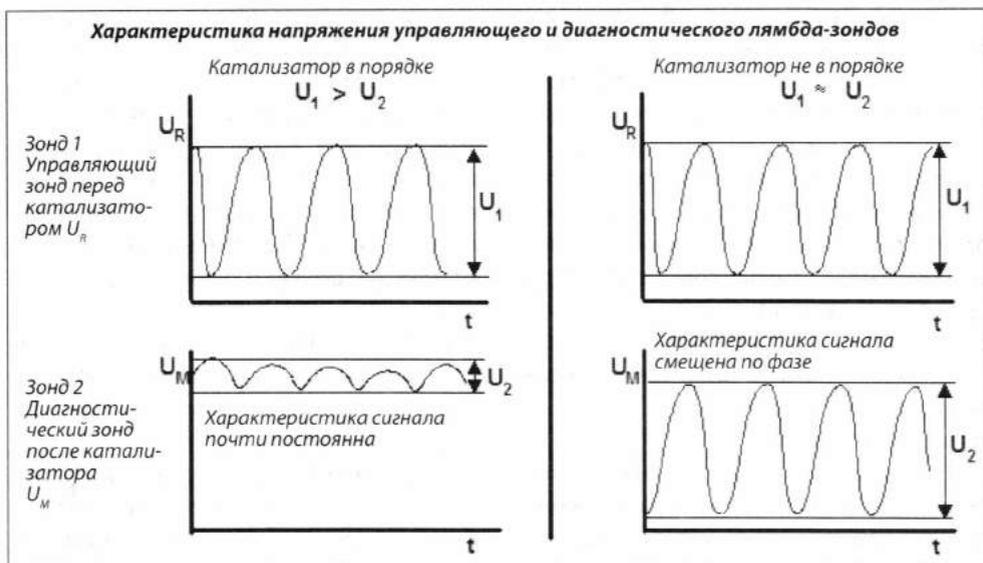


Рис. 10.4. Характеристика сигнала управляющего и диагностического лямбда-зондов

си. У неисправного катализатора происходит слишком слабая нейтрализация вредных веществ либо она отсутствует вовсе. В результате второй лямбда-зонд также будет выполнять лямбда-регулирование. При внутренней диагностике в OBD сигналы напряжения обоих зондов сравниваются на протяжении нескольких циклов регулирования. При обнаружении совпадения сигналов напряжения зондов (допускается небольшое фазовое смещение, обусловленное временем прохода смеси) регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

10.4. Контроль работы лямбда-зондов

Лямбда-зонды — важнейшие датчики, контролирующие точный состав смеси. Сигналы лямбда-зонда используются также для косвенного контроля других систем,

уменьшающих выбросы. Таким образом, работоспособность зондов имеет большое значение для всей системы. Контроль лямбда-зондов и контура регулирования обеспечивается путем постоянных проверок правдоподобности сигналов напряжения зонда, измерения тока и напряжения на нагревательном резисторном элементе зонда, измерения регулирующей частоты (динамический анализ) и распознавания изменений характеристики зонда, обусловленных его старением. При изменении характеристики особо анализируются амплитуда регулирования, параметры реагирования и длительность регулирования (см. также раздел 7.5).

10.4.1. Контроль управляющего зонда

Контроль управляющего зонда осуществляется путем анализа смещения характеристической кривой напряжения зонда. К смещению кривых приводит старение или «отравление» зонда. Смещение распознает-

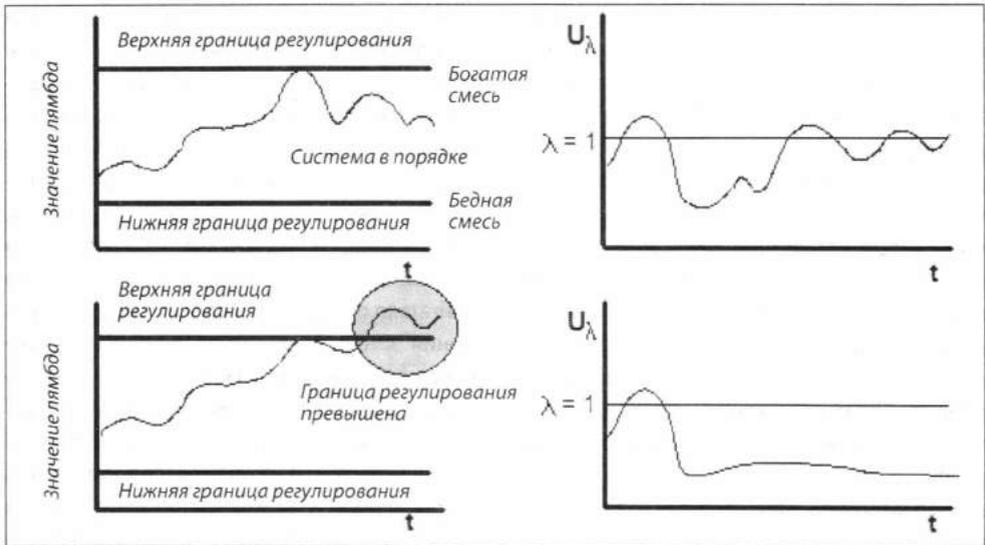


Рис. 10.5. Характеристика сигнала при диагностике пределов регулирования

ся блоком управления и согласуется в заданных пределах. При превышении предела согласования регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

Проверка зондов выполняется при как можно более постоянных условиях эксплуатации (около 20 секунд движения с постоянной скоростью). В ЭБУ записаны предельные значения для времени включения лямбда-зонда и времени ожидания сигналов в диапазонах богатой и бедной смеси. При превышении предельных значений регистрируется неисправность в регистраторе событий и загорается индикатор MIL.

10.4.2. Контроль диагностического зонда

Для полного контроля контура регулирования и функции катализатора необходимо использовать и диагностический зонд. Работоспособность зонда можно проверить через диагностику пределов регулирования или диагностику движения.

Диагностика пределов регулирования

При этой диагностике управляющая электроника следит за параметрами регулирования диагностического зонда путем длительного, целенаправленного изменения состава смеси. При превышении заданных пределов регулирования регистрируется неисправность. Если состав смеси оптимальный, то напряжение диагностического зонда колеблется в диапазоне $\lambda = 1$. Если диагностический зонд выдает более высокое или более низкое напряжение (отличное от среднего значения), значит состав смеси неправильный или неисправен катализатор. ЭБУ изменяет регулирующее значение лямбда до тех пор, пока зонд снова не отправит значение $\lambda = 1$. Это регулирующее значение имеет определенные пределы. При превышении этих пределов система OBD исходит из неисправности контролирующего зонда или системы выпуска ОГ (например, вторичный воздух).

Контроль выполняется по следующему образцу: при падении напряжения зонд сообщает блоку управления двигателем

об увеличении концентрации кислорода в ОГ. ЭБУ повышает регулирующее значение лямбда, и смесь обогащается. Напряжение зонда увеличивается, и ЭБУ снова понижает регулирующее значение. Это регулирование выполняется в течение длительного времени. По достижении предела регулирования зонд продолжает сообщать о падении напряжения из-за слишком высокой концентрации кислорода в ОГ. ЭБУ повышает регулирующее значение для обогащения смеси. Однако, несмотря на обогащение смеси, напряжение зонда остается низким, что обусловлено неисправностью (рис. 10.5), и ЭБУ повышает регулирующее значение до запрограммированного предела регулирования. ЭБУ распознает неправдоподобное состояние эксплуатации; регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

Диагностика движения

Работоспособность диагностического зонда также можно контролировать — для этого ЭБУ проверяет и анализирует сигналы зонда в режимах ускорения и принудительного холостого хода. В фазе разгона смесь обогащается, и концентрация кислорода в ОГ уменьшается. Напряжение зонда должно увеличиться. В режиме принудительного холостого хода картина прямо противоположная. Подача топлива прерывается, и концентрация кислорода в ОГ увеличивается. Напряжение зонда должно уменьшиться. Если реакция системы при нескольких этих режимах отличается от предусмотренной, то блок управления двигателем распознает зонд как неисправный и регистрируется неисправность.

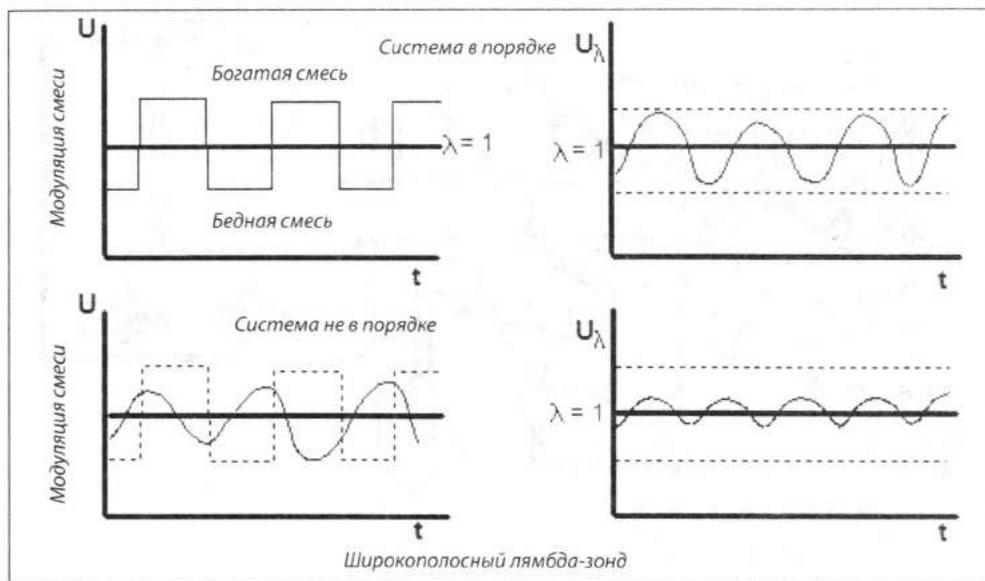
10.4.3. Диагностика обогрева лямбда-зонда

Наряду с описанными выше видами диагностики при проверке лямбда-зонда можно проводить расширенные проверки функци-

онирования и правдоподобности. При этом электрические неисправности распознаются по КЗ или обрыву проводов. Функции контролируются спорадически. Важнейшая дополнительная диагностика — это проверка обогрева лямбда-зонда. Обогрев лямбда-зонда можно контролировать, к примеру, по времени. Так, регулирующая электроника не позднее чем через 10 секунд после запуска двигателя ожидает адекватный сигнал напряжения зонда. Если сигнал поступает позже либо вообще не поступает, то нужно исходить из неисправности обогрева лямбда-зонда. Еще один метод проверки мощности обогрева зонда состоит в измерении сопротивления нагревательного элемента зонда и сравнении его с заданным. Кроме того, можно анализировать регулирование обогрева через сравнение температуры, измеренной внутренним датчиком температуры лямбда-зонда, и сохраненной температуры нормального режима (например, 720 °C). Если отклонение температуры от нормы слишком велико, то ЭБУ регистрирует неисправность системы выпуска и загорается индикатор MIL.

10.4.4. Диагностика широкополосного лямбда-зонда

Контроль широкополосного лямбда-зонда несколько отличается от контроля зондов с релейной характеристикой. Выходной сигнал зонда представляет собой величину тока, которая должна в точности соответствовать запрограммированным номинальным значениям при колебаниях смеси. Этот ток пересчитывается блоком управления в напряжение и выдается для системы диагностики. На рис. 10.6 показаны кривые пересчитанного напряжения у исправного и неисправного широкополосных зондов. Колебания смеси, необходимые для диагностики зонда, инициируются блоком управления через определенные проме-



Широкополосный лямбда-зонд

Рис. 10.6. Контроль широкополосного лямбда-зонда

жутки времени и анализируется характеристика сигналов зонда. При недостижении или превышении номинальных значений в пределах заданного диапазона загорается индикатор MIL и регистрируется неисправность.

10.5. Контроль рециркуляции ОГ

Системы рециркуляции ОГ используются для уменьшения выбросов NO_x и являются важным дополнением катализаторов. Отработавшие газы относятся к инертным (негорючим) газам. Когда часть камеры сгорания заполнена ОГ, пиковые температуры сгорания понижаются, тем самым ограничивая важное условие образования NO_x . Кроме того, из-за нагревания «холодной» смеси на стороне всасывания ухудшается объем заполнения. При меньшем запол-

нении цилиндров температура сгорания снижается еще сильнее. Интенсивность рециркуляции ОГ необходимо адаптировать к условиям эксплуатации, так как слишком интенсивная рециркуляция может привести к неравномерной работе двигателя и росту выбросов углеводородов. Причина этого роста — замедленное сгорание. Благоприятные условия для максимальной интенсивной рециркуляции ОГ создаются при прогревом до рабочей температуры двигателя в среднем и верхнем диапазонах частичной нагрузки. Для достижения оптимальной рециркуляции ОГ используются характеристики регулирования открывания клапана системы рециркуляции ОГ. При этом решающую роль помимо прочих второстепенных параметров — температуры двигателя и положения дроссельной заслонки — играют нагрузка и обороты двигателя. Возможны комбинации внутренней, внешней и охлаждаемой систем управления рециркуляцией ОГ.

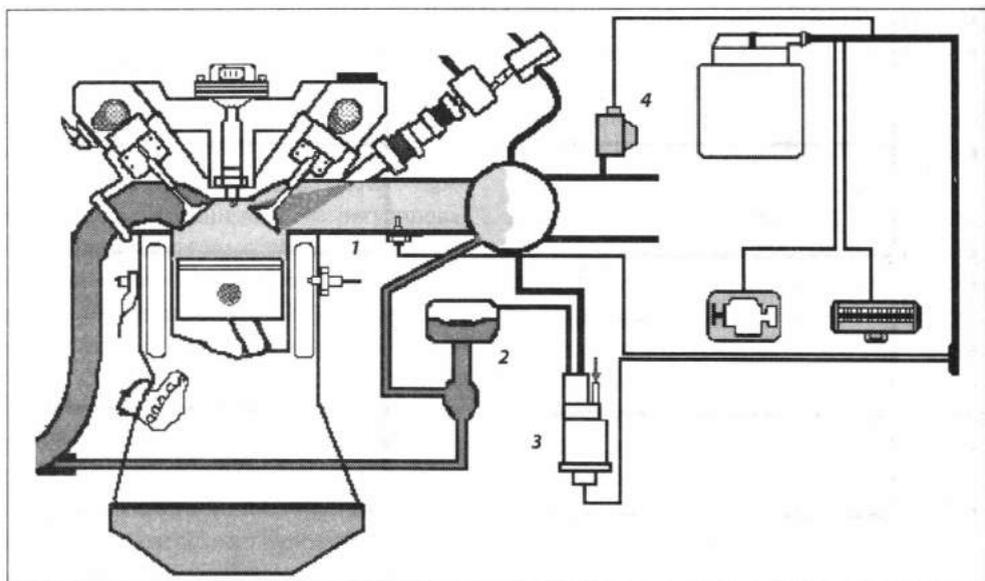


Рис. 10.7. Проверка функционирования рециркуляции ОГ

Для контроля рециркуляции ОГ (рис. 10.7) используются датчик давления во всасывающем трубопроводе (4), регулятор давления рециркуляции ОГ (3), клапан рециркуляции ОГ (2) и датчик температуры для всасываемого воздуха (1). Контроль осуществляется косвенно.

Рециркуляция ОГ контролируется по давлению и/или температуре во впускном коллекторе. У исправной и активизированной системы рециркуляции ОГ давление и/или температура во впускном коллекторе должны кратковременно увеличиваться. ЭБУ сравнивает изменения во впускном коллекторе с объемом рециркулированных ОГ и анализирует функцию рециркуляции. Как правило, проверка выполняется только в режиме принудительного холостого хода, так как возмущающие воздействия благодаря впрыску отпадают, а мощность всасывания двигателя очень велика. Фиксированные пороговые значения должны превышаться. При падении значений ниже минимального предела систе-

ма распознает неисправность рециркуляции ОГ, и загорается индикатор MIL.

10.6. Контроль вентиляции бака

Система вентиляции топливного бака предотвращает попадание в окружающую среду летучих компонентов топлива. Центральной деталью является фильтр с активированным углем (адсорбер). Используемый фильтр может не только аккумулировать пары топлива, но и отдавать их в режиме движения. За счет разрежения во впускном коллекторе пары топлива отсасываются через систему клапанов и подаются в двигатель для сгорания. Система включает в себя соединения между двигателем и системой вентиляции фильтра с активированным углем, а также, как минимум, один электромагнитный клапан. В качестве материала фильтра используется активиро-

ванный уголь, очень легкий гранулят с очень большой площадью поверхности и способностью накапливать углеводороды. Поглощающая способность фильтра по углеводородам ограничена, поэтому его необходимо восстанавливать через определенные интервалы времени. Интервалы замены фильтров, как правило, не регламентируются, но кислородсодержащие компоненты топлива (например, этанол) со временем разлагают активированный уголь и уменьшают способность фильтра к накоплению паров топлива.

Проще всего контролировать систему путем проверки электрической функции клапана вентиляции топливного бака. Для контроля можно также использовать сигналы управляющего зонда контура лямбда-регулирования. На рис. 10.8 показан принцип проточной диагностики. Значения лямбда определяются при открытом и закрытом клапане вентиляции топливного бака (1) и сравниваются на протяжении нескольких циклов регулирования. При работающем двигателе отложившиеся в фильтре с активированным углем (2) компоненты топлива отсасываются за счет разрежения во впускном коллекторе, и фильтр одновременно продувается чистым воздухом. Запорный клапан вентиляции топливного бака (3) регулирует процесс восстановления фильтра.

Если теперь при прогревом двигателя включить и выключить клапан вентиляции топливного бака, то при заполненном фильтре смесь будет богаче, а при слабо заполненном — беднее. Управляющий зонд перед катализатором распознает изменения скорости и сравнивает соответствующие регулирующие значения лямбда с заданными. По результатам сравнения значений делают выводы о распознавании неисправностей.

Еще одним способом контроля вентиляции бака является диагностика модуляции. При этом электромагнитный клапан (1) через запрограммированные короткие интервалы

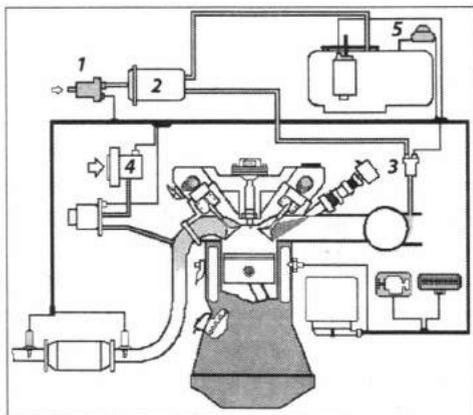


Рис. 10.8. Контроль вентиляции топливного бака и системы впуска добавочного воздуха

несколько раз открывается и закрывается. В результате возникает модуляция давления во впускном коллекторе, определяемая датчиком давления во впускном коллекторе. Сигналы сравниваются с записанными номинальными значениями и обрабатываются. При выходе значений за допустимые пределы загорается индикатор неисправностей MIL и регистрируется неисправность.

10.7. Контроль системы впуска добавочного воздуха

При холодном запуске и в фазе прогрева смесь необходимо обогащать для обеспечения ровной работы двигателя. Степень обогащения в основном зависит от температуры и нагрузки на двигатель. В этой фазе катализатор еще не работает, так как преобразование вредных веществ начинается лишь при 250°C. Выбросы оксида углерода и углеводородов в ОГ очень велики. В этих фазах система впуска добавочного воздуха (рис. 10.8) с помощью дополнительного насоса (4) вводит наружный воздух через клапан в выпуск-

ной коллектор. Активизация выполняется после запуска двигателя примерно на 2 минуты. В результате вредные вещества термически окисляются, и температура ОГ повышается. Катализатор быстрее нагревается до рабочей температуры. Одновременно обеспечивается необходимый катализатору кислород для реакций окисления.

У некоторых систем система впуска добавочного воздуха закачивает наружный воздух в выпускной коллектор даже при высокой температуре. При температуре ОГ более 600 °С между коллектором и катализатором может произойти термическое окисление углеводородов и оксида углерода, и часть вредных веществ будет преобразована еще до катализатора. Это повышает КПД катализатора по оставшимся вредным веществам и замедляет его старение.

Проверка системы впуска добавочного воздуха выполняется периодически и обеспечивается через напряжение лямбда-зонда и контроль контура лямбда-регулирующего. Проверка относится к впуску добавочного воздуха и функции клапана добавочного воздуха. Благодаря впуску добавочного воздуха регулирование лямбда-зонда находится больше в диапазоне бедной смеси. При обогащении смеси и одновременной активизации системы впуска добавочного воздуха лямбда-зонд должен отправлять сигнал бедной смеси. Циклы регулировки контура лямбда-регулирующего в диапазоне бедной смеси подсчитываются на единицу времени, их должно быть больше определенного количества. При снижении ниже минимального предела регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

В системах с широкополосными лямбда-зондами возможна более точная проверка системы через проточную диагностику. При этом во время первого холостого хода после пуска система впуска добавочного воздуха подключается на определенное время. Необходимым

условием является достаточно длительная фаза холостого хода. Лямбда-зонд распознает избыток воздуха, но не выполняет корректировку. По отклонению сигнала лямбда-зонда электроника вычисляет расход воздуха, проходящего через систему впуска добавочного воздуха. Электроника определяет разность при активной и неактивной системах впуска добавочного воздуха и сравнивает ее с номинальными значениями. Дополнительно к расходу воздуха проверяется правдоподобность сигналов всех электрических компонентов системы.

10.8. Контроль топливной системы

Контроль топливной системы призван распознавать ошибочное давление топлива из-за неисправных регуляторов давления, неисправных форсунок или неисправностей в системе впуска и предотвращать возникающие в связи с этим изменения концентрации вредных веществ в ОГ. Система корректирует состав смеси в определенных пределах всегда на лямбда = 1. При отклонениях состава смеси система корректирует заданные значения в определенных пределах. Коррекция происходит либо кратковременно, либо долговременно — при постоянно необходимой коррекции. Для контроля топливной системы постоянно контролируются лямбда-регулирующее и коррекция лямбда-регулирующего. При возникновении отклонений, превышающих заданные пределы, электроника распознает неисправность в топливной системе. Величину коррекции можно считать с помощью тестера в режиме 1 и определить тип коррекции (обогащение или обеднение смеси) (см. также раздел 10.9).

Один из вариантов проверки герметичности топливной системы выполняется с по-

мощью системы вентиляции топливного бака при работающем двигателе. Для проверки топливной системы (рис. 10.8) закрывается запорный клапан (3) и одновременно открывается клапан вентиляции топливного бака (1). Во всей топливной системе через впускной коллектор создается разрежение. После этого клапан вентиляции топливного бака снова закрывается. Датчик давления (5) контролирует разрежение в баке. Этот процесс повторяется несколько раз. Если за очень короткое время разрежение исчезнет, значит, система негерметична. Система неисправна, если диаметр отверстия течи превышает 0,5 мм. Для диагностики необходимо, чтобы пробка заливной горловины топливного бака была правильно закрыта.

Еще одним вариантом (рис. 10.9) для распознавания негерметичности топливной системы и системы вентиляции бака является контроль через функцию выбега при остановленном двигателе и с помощью дополнительного вакуумного насоса и эталонной утечки. Функция выбега автоматически активизируется при выключении зажигания и при одновременном выполнении различных условий диагностики (таблица 10.1). Система контроля распознает отверстие течи диаметром от 0,5 мм и при необходимости активизирует индикатор MIL. На рисунке изображен этап эталонного измерения.

С помощью дополнительного электрического лопастного насоса система создает в баке разрежение около 30 мбар. Измеряется потребляемый насосом ток и по нему косвенно определяется внутреннее давление в баке. Перед каждым измерением проводится сравнительное измерение. Примерно на 15 секунд создается разрежение, повышенное по сравнению с эталонным и измеряется необходимый для этого ток насоса (20–30 мА). Если при последующем достижении разрежения в режиме проверки будет выявлено уменьшение

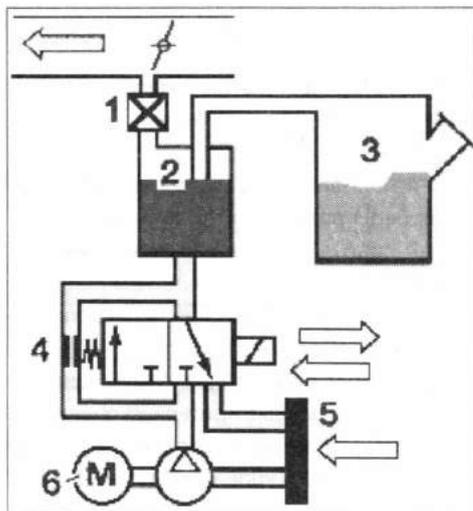


Рис. 10.9. Контроль плотности с помощью вакуумного насоса

1. Клапан вентиляции топливного бака
2. Адсорбер
3. Топливный бак
4. Эталонная утечка
5. Воздушный фильтр
6. Вакуумный насос

Таблица 10.1. Условия диагностики

Критерий оценки	Условие диагностики
Работа системы после выключения	Активизирована
Напряжение АКБ, В	11,0–14,5
Время после запуска двигателя, мин	более 20
Заправка топливного бака, %	15–85
Температура охлаждающей жидкости, °С	более 60
Температура воздуха, °С	4–35
Высота эксплуатации над уровнем моря, м	до 2500
Степень заполнения адсорбера	Полный (предельное значение указано)

тока насоса по сравнению с эталонным, это указывает на негерметичность в топливной системе. При превышении эталонного тока система считается герметичной.

Диагностика проходит в три этапа.

1-й этап. Фильтр с активированным углем (адсорбер) продувается чистым воздухом.

2-й этап. Проводится измерение для сравнения с базисным отверстием течи.

3-й этап. Выполняется непосредственно проверка герметичности системы.

При измерении клапан вентиляции топливного бака закрыт. Критерием оценки является длительность измерения, и в зависимости от системы и уровня топлива она имеет следующие значения:

- система герметична — 60–220 секунд;
- течь до 0,5 мм — 200–300 секунд;
- течь > 1,0 мм — 30–80 секунд.

Точная длительность измерения получается с учетом уровня топлива в баке.

10.9. Коррекция регулировки топливовоздушной смеси

Современные системы впрыска способны корректировать состав смеси в заданных пределах. Преимущество этой коррекции состоит в компенсировании изменений, обусловленных износом двигателя по мере увеличения пробега и всегда точной адаптации смеси к диапазону нагрузок. Возникающие изменения распознаются лямбда-зондом, и время впрыска изменяется. Смесь всегда регулируется под идеальный коэффициент избытка воздуха. Если коррекция смеси в какой-то рабочей точке выполняется многократно с одинаковой коррекцией количества, то для этой рабочей точки предпринимается длительная коррекция смеси и значение коррекции записывается в ЭБУ. Дальнейшие

коррекции смеси в этой рабочей точке уже не потребуются. Можно снова использовать весь диапазон лямбда-регулирования от бедной до богатой смеси.

Различают два вида коррекции смеси — **мультипликативную** и **аддитивную**. Обе коррекции выполняются через изменения характеристики впрыска, а именно его длительности t_f . Дополнительная коррекция также называется кратковременной коррекцией впрыска (Short Term Fuel Trim), а мультипликативная — долговременной коррекцией впрыска (Long Term Fuel Trim).

Как правило, коррекция смеси происходит при:

- компенсации изменения плотности воздуха при езде в горах;
- подсосывании воздуха через неплотности;
- изменении давления топлива;
- пульсации давления топлива;
- производственных допусках и разбросу параметров форсунок.

При диагностике лямбда-зонда во избежание ошибочной интерпретации нужно также учитывать текущие значения коррекции смещения характеристики. Так лямбда-зонд, постоянно выдающий сигнал бедной смеси, может быть абсолютно исправен, поскольку слишком большая масса воздуха, подсосываемого из-за нарушения герметичности, явно превышает возможные пределы коррекции. Однако не каждую неисправность можно диагностировать через коррекцию времени впрыска. Если неисправен, к примеру, датчик температуры всасываемого воздуха и датчик температуры охлаждающей жидкости, то в результате изменяется также время впрыска, но коррекция смеси не выполняется.

Следует иметь в виду, что при замене деталей (например, регулятора холостых оборотов или форсунки) значения коррекции должны быть обнулены, и система должна запомнить значения заново. В новых систе-

мах из экономии часто предпочитается вариант «запоминания» значений.

Аддитивная коррекция смеси

Аддитивная коррекция смеси работает на холостом ходу и частично в нижнем диапазоне нагрузок. При аддитивной коррекции смеси фиксированные значения коррекции прибавляются к вычисленному базовому времени впрыска (либо вычитаются из него). Коррекция происходит при возникающих изменениях очень быстро. На рис. 10.10 показан принцип действия аддитивной коррекции смеси.

Пример аддитивной коррекции смеси

Нагрузка и обороты — вычисленное t_i + аддитивная коррекция = t_{ik}

Холостые обороты 850 мин⁻¹

2 мс + например, 0,3 мс = 2,3 мс

Частичная нагрузка 1150 мин⁻¹

2,8 мс + например, 0,3 мс = 3,1 мс

Мультипликативная коррекция смеси

Мультипликативная коррекция смеси эффективна в диапазонах частичной и полной нагрузки. При мультипликативной коррекции смеси базисное время впрыска умножается на определенное фиксированное значение коррекции (например 1,1 или 1,2). Преимущество мультипликативной коррекции смеси состоит в более оптимальной адаптации к различным диапазонам нагрузки в зависимости от оборотов и зависящего от них объема впрыска. Эффективность на холостом ходу здесь ниже, чем при аддитивной коррекции. С ростом оборотов и объема впрыска больше работает мультипликативная коррекция.

Пример мультипликативной коррекции смеси

Нагрузка и обороты — вычисленное t_i × мультипликативная коррекция = t_{ik}

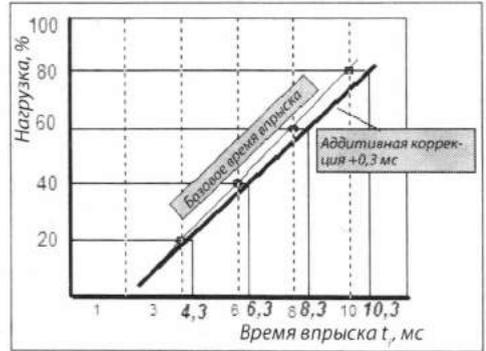


Рис. 10.10. Аддитивная коррекция смеси

Частичная нагрузка 2320 мин⁻¹

3,8 мс × 1,2 (+ 20%) = 4,2 мс

Полная нагрузка 4450 мин⁻¹

10,0 мс × 1,2 (+ 20%) = 12,0 мс

Регулирование мультипликативной коррекции (рис. 10.11) также возможно лишь в заданных пределах. При достижении предельных значений или выходе за них загорается индикатор неисправности OBD. Значения коррекции можно многократно считывать в блоках измеряемых величин. Новые системы автоматически переписываются, так что данные сохраняются в памяти даже после отсоединения АКБ. Если в автомобиле имеется только энергозависимое запоминающее устройство, то могут потребоваться более длительные адаптирующие поездки. В перспективе для ЭБУ будет выполняться лишь базовое программирование и за первые пару сотен километров пробега они будут точно адаптироваться к двигателю.

10.10. Контроль функции E-Gas

У двигателей с функцией E-Gas существует линейная зависимость между наполнением двигателя и крутящим моментом, создава-

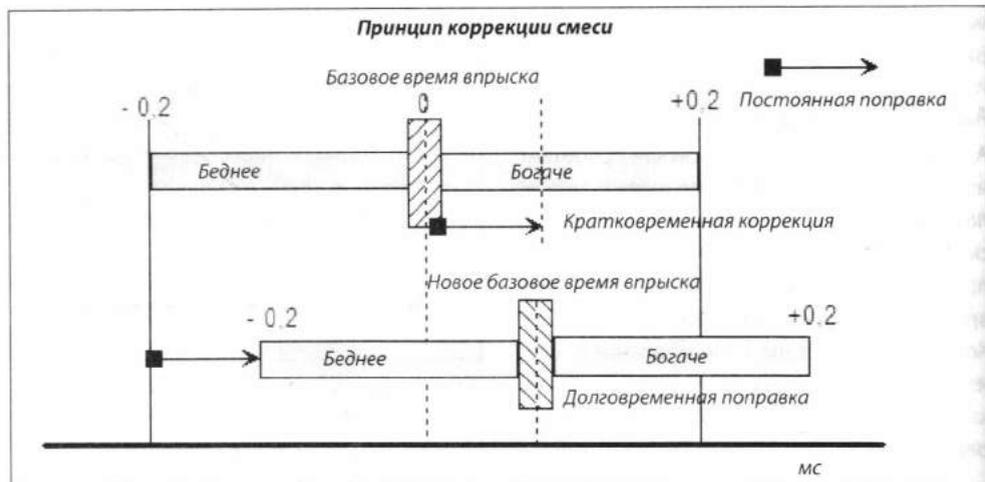


Рис. 10.11. Принцип мультипликативной коррекции смеси

емым в процессе сгорания. При этом масса всасываемого воздуха используется для расчета отдаваемого крутящего момента. Затрагиваются также время впрыска и момент зажигания. На рис. 10.12 показан общий контур управления функции E-Gas. Через электронную педаль акселератора с потенциометром или датчиком Холла определяется задаваемый водителем крутящий момент и с учетом поправочных коэффициентов пересчитывается электроникой в номинальный крутящий момент. На его основе вычисляются необхо-

димый объем впрыска и наполнение двигателя. Определенные рабочие точки жестко фиксированы. Это пуск, состояние после пуска, прогрев двигателя, фаза нагрева катализатора, холостой ход, полная нагрузка, разгон и отключение тяги. Учитываются различные внешние и внутренние факторы, а также особые условия при регулировании скорости движения и холостого хода. На педали акселератора всегда имеется два датчика.

Система E-Gas является основным условием для работы двигателей с регулировкой

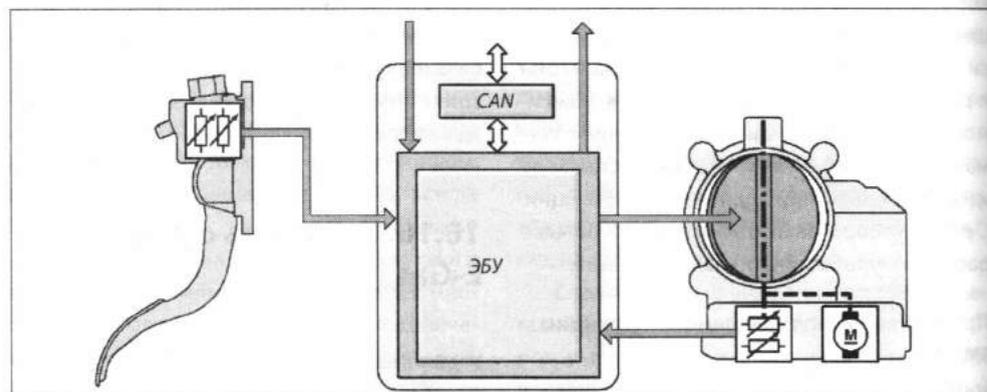


Рис. 10.12. Контур управления системы E-Gas

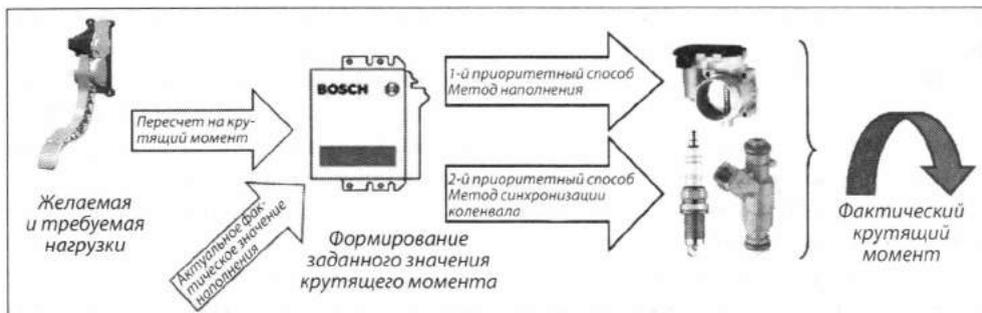


Рис. 10.13. Принцип действия системы E-Gas [источник: Bosch]

крутящего момента. Для точного отражения величины задаваемого водителем крутящего момента при расчете наполнения также учитываются внутренний и внешний рассеиваемые моменты двигателя. Регулирование плавности хода можно улучшить путем селективного управления наполнением в различных цилиндрах.

- ❑ Внутренние рассеиваемые моменты по сути являются потерями на трение в двигателе.
- ❑ Внешние рассеиваемые моменты — это потери из-за вспомогательных агрегатов, таких как генератор, кондиционер, насос гидроусилителя рулевого управления.

Принцип работы системы E-Gas показан на рис. 10.13. ЭБУ в зависимости от положения педали акселератора распознает положение дроссельной заслонки, которое, в свою очередь, зависит от текущей рабочей точки. ЭБУ постоянно определяет положение педали акселератора и изменение скорости. Измеряется сигнал датчика Холла или сигнал потенциометра и на его основании активизируется дроссельная заслонка. В блок дроссельной заслонки встроена функция аварийного хода. При отказе серводвигателя пружина устанавливает фиксированный зазор, и двигатель работает на повышенных оборотах. При замене блока дроссельной заслонки система должна заново «запомнить» его. Эту функцию можно

вызвать через диагностическую систему, запоминание выполняется автоматически при включении зажигания.

Для проверки функции E-Gas в рамках внутренней диагностики проверяются следующие значения:

- ❑ функциональный компьютер в блоке управления двигателем;
- ❑ датчики положения педали акселератора;
- ❑ датчик положения дроссельной заслонки;
- ❑ функция выключателя сигналов торможения;
- ❑ функция датчика положения педали сцепления;
- ❑ сигнал датчика скорости движения.

Контроль OBD использует внутренние функции диагностики электронной педали акселератора. Если выявленная неисправность не исчезает после одного-двух последовательных циклов движения, то система OBD включает индикатор MIL. При отказе датчика регистрируется неисправность в регистраторе событий и загорается индикатор неисправности. Система сначала регулируется на холостом ходу. При распознавании нейтрального положения у второго датчика в течение заданного срока проверки режим движения снова становится возможным. Дополнительное распознавание холостого хода обеспечивается с помощью выключателя педали тормоза и по сигналу датчика ско-

рости движения. Функции комфорта, такие как регулирование темпомата или тягового момента двигателя отключаются. Для достижения полной нагрузки обороты повышают до максимальных медленно.

При отказе обоих датчиков сразу же отмечается неисправность в регистраторе событий и загорается индикатор неисправности. Двигатель работает на повышенных холостых оборотах (например, 1600 мин⁻¹) и больше не реагирует на педаль акселератора. В зависимости от системы управления двигателем может получиться так, что одновременный отказ обоих датчиков не будет распознан однозначно. Индикатор неисправности не загорится. Двигатель работает на повышенных холостых оборотах и не больше реагирует на педаль акселератора. В режиме 1 можно считать фактические положения педали акселератора и дроссельной заслонки.

10.11. Диагностика термостата

Начиная с 2000-го модельного года CARB-OBD требует контроля температуры ОЖ, регулируемой термостатом. Если номинальная рабочая температура двигателя упадет более чем на 11 °С, должна быть отмечена системная неисправность. Диагностика базируется на том, что стандартная конструкция системы охлаждения двигателя помимо определения температуры охлаждающей жидкости в головке блока цилиндров имеет второй датчик температуры на выходе радиатора.

При холодном запуске термостат сначала остается закрытым, из-за чего измеряемая при запуске температура ОЖ на выходе радиатора вначале остается почти постоянной, в то время как температура ОЖ в головке бло-

ка цилиндров все больше повышается. Когда температура ОЖ в головке блока цилиндров достигнет заданного регулировочного значения термостата, он открывает контур движения ОЖ через радиатор, и на выходе радиатора температура повышается.

Рост температуры на выходе на определенное дифференциальное значение по сравнению с температурой на момент запуска двигателя служит условием для разрешения диагностики термостата. Исходят из того, что при безупречно работающем термостате номинальная температура двигателя не превышает. Таким образом, температуру ОЖ в головке блока цилиндров нужно контролировать только в отношении допустимого диапазона (номинальная температура минус 11 °С).

10.12. Контроль CAN — шины

Системы с CAN- шиной (Controller Area Network) — стандартизированные системы для передачи данных в реальном времени, используемые в каждом автомобиле в различных местах. Существуют различные виды автомобильных систем шин. Для управления двигателем значение имеют лишь последовательные системы, у которых каждый блок управления может отправлять и принимать данные независимо.

Каждый блок управления двигателем получает информацию через установленные в автомобиле электронные элементы системы с CAN-шиной. Все ЭБУ непрерывно отправляют информацию на блок управления двигателем. Блок распознает функционирование обмена данными. При отсутствии информации от определенных ЭБУ или определенного минимального количества сообщений блок управления распознает соответствующий узел и регистрирует неис-

правность. Примеры ЭБУ на CAN-шине, имеющие отношение к OBD:

- ЭБУ с блоком индикации на панели приборов;
- ЭБУ системы ABS;
- ЭБУ системы ESP или системы регулирования динамики движения;
- ЭБУ автоматической КПП.

При наличии неисправности, к примеру, в ЭБУ АКПП через CAN-шину на блок управления двигателем должен быть отправлен сигнал на включение индикатора MIL, поскольку неисправность в АКПП может иметь последствия и для системы выпуска ОГ. Однако полный контроль ЭБУ АКПП не является задачей системы OBD.

10.13. Контроль прочих систем и отдельных датчиков

Слабым местом в электрической системе автомобилей является прокладка проводов и жгутов проводов в салоне. Из-за колебаний температуры, постоянной вибрации и механических нагрузок провода интенсивно изнашиваются. Система OBD в рамках комплексной диагностики компонентов (Comprehensive Components Monitoring) проверяет все электрические и электронные компоненты, детали и выходные каскады путем определения падения напряжения в соответствующей детали. Сигналы датчиков сравниваются с сохраненными значениями или другими сигналами, и проверяется их правдоподобность. Распознавать неисправности датчиков относительно сложно, так как для этого реальный, но отклоняющийся сигнал датчика должен выйти из заданного диапазона ожидаемых значений либо требуется рассчитать характеристики модели

для сравнения. При этом сложно правильно определить старение деталей, возникающее, к примеру, из-за загрязнения маслом или из-за влаги, а также определить надежные пороговые значения, при которых начинается регистрация неисправностей и загорается индикатор MIL. Кроме того, проверяются токовые цепи, в частности:

- входные и выходные сигналы;
- замыкание на массу деталей и/или сигнальную массу;
- КЗ детали или сигнала;
- обрыв цепи или обрыв проводов.

КЗ на массу автомобиля часто возникает из-за плохой прокладки проводов по кузову. КЗ на плюс батареи (КЗ на +12 В) возникает при повреждении изоляции у двух лежащих друг на друге проводов. При разрыве провода из-за механических нагрузок возникает обрыв провода или токовой цепи. Эта неисправность часто возникает в точках соединения провода и датчика или провода и разъема. При этом общий контроль систем зависит от автомобиля и уровня оснащения.

В рамках OBD проверяется электрическая функция всех датчиков, исполнительных механизмов и выходных каскадов. Решающим фактором вовлечения в контроль OBD является не отдельная система, а ее эффективность в плане нейтрализации вредных выбросов. Каждый ЭБУ контролирует подключенные к нему датчики, исполнительные механизмы и выходные каскады по падению напряжения. Отдельные датчики, как правило, проверяются по трем типам неисправностей.

1-й тип неисправностей. Являются ли измеренные датчиком значения правдоподобными?

При наличии конкретной неисправности в том или ином компоненте датчик отображает измеренное значение, не соответствующее реальным режимам работы. К примеру, датчик расхода воздуха при загрязнении может

выдавать значения, находящиеся в допустимом диапазоне, но тем не менее некорректные. Фактические данные о режиме работы сравниваются с записанными в память номинальными значениями и анализируются.

2-й тип неисправностей. Нет ли постоянных неисправностей («stuck-faults»)?

В этом случае датчик, несмотря на изменяющиеся режимы работы, выдает все время одно и то же значение. Такое значение часто находится в пределах диапазона действительных значений, так что диагностировать неисправность оказывается сложно, и для проверки правдоподобности приходится использовать другие измеренные значения или вычислительные модели.

3-й тип неисправностей. Нет ли ошибки сигнала «выход за пределы диапазона»?

Если датчик выдает измеренное значение, выходящее за пределы диапазона значений для этого датчика, то регистрируется ошибка сигнала. Диапазон значений для данного датчика должен быть сохранен в ЭБУ.

10.13.1. Контроль давления наддува

Давление наддува проверяется на предмет соблюдения максимально допустимого давления. Изменения в подаче воздуха немедленно приводят к изменениям количества и состава ОГ. При превышении максимально допустимого давления наддува в течение заданного времени датчик давления во впускном коллекторе отправляет регулирующей электронике сообщение о неисправности. Турбокомпрессор выключается клапаном ограничения давления наддува во избежание повреждений двигателя. Как правило, ограничительный клапан открывается мгновенно. В регистратор событий записывается неисправность, и загорается индикатор MIL. При диагностике нужно проследить, чтобы все подсоединения шлангов и электромагнитный клапан проверялись

тщательнейшим образом — во избежание дорогой замены турбокомпрессора, возможно ошибочно диагностированного как неисправный. Кроме того, должен осуществляться контроль за несанкционированным чип-тюнингом двигателей и несанкционированными манипуляциями с клапаном ограничения давления наддува.

10.13.2. Контроль сигнала скорости

Сигнал скорости подается либо блоком управления ABS на основании сигналов датчиков угловых скоростей колес, либо внешним датчиком скорости. В рамках комплексной проверки компонентов датчики проверяются на предмет электрических неисправностей. Сигнал скорости сравнивается с фактическим расходом впрыска и соответствующими оборотами двигателя. ЭБУ на основании определенных характеристик может определить правдоподобность сигнала скорости на фоне других данных. Еще одна возможность проверить правдоподобность — анализ отображаемого значения скорости. Может получиться так, что датчик скорости будет отображать слишком высокое для автомобиля значение (например, более 250 км/ч). В этом случае регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

10.13.3. Контроль датчика массового расхода воздуха

Датчик массового расхода воздуха (рис. 10.14) у бензиновых двигателей передает на ЭБУ информацию о количестве воздуха, всасываемого двигателем. Эти данные ЭБУ использует для оптимизации состава смеси и снижения расхода топлива за счет согласованного сгорания. Чтобы информация о количестве всасываемого двигателем воздуха была как можно точнее, расходомер воздуха распознает обратные потоки, вызываемые открыванием и закрыванием клапанов, и вы-

числяет массу воздуха с учетом этих потоков. Значения, измеренные датчиком массового расхода воздуха, используются для вычисления и регулирования всех функций, зависящих от оборотов и нагрузки — например, времени впрыска, момента зажигания или системы вентиляции топливного бака.

На основе фактических значений нагрузки на двигатель, оборотов двигателя и температуры воздуха ЭБУ дополнительно вычисляет номинальную массу воздуха. Отклонение номинального значения от фактически измеренного означает неправдоподобность массы воздуха, загорается индикатор MIL. Значения напряжения датчика массового расхода воздуха находятся в диапазоне 0,5–4,5 В. Если измеренные значения выходят за пределы диапазона, регистрируется неисправность. Однако чаще всего происходит лишь смещение значений напряжения вниз, без регистрации неисправности. Автомобиль больше не развивает максимальную мощность. В этом случае нужно считать измеренные значения в режиме 1 и сравнить их с номинальными. При необходимости нужно проанализировать значения напряжения датчика массового расхода воздуха путем регистрации сигналов в режиме движения. При отказе датчика ЭБУ вычисляет эквивалентное значение.

10.13.4. Контроль выключателя сигналов торможения и педали сцепления

При нажатии на педаль тормоза замыкается контакт в выключателе для активизации стоп-сигналов. Одновременно срабатывает второй контакт и по CAN-шине дает сигнал блоку управления двигателем на переключение в режим холостого хода при низких оборотах. Оба выключателя используются в резервном режиме и служат для вспомогательного контроля. В рамках внутренней диагностики

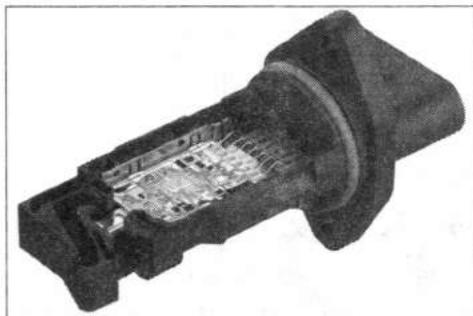


Рис. 10.14. Датчик массового расхода воздуха

проверяется правдоподобность сигналов. У автомобилей с АКПП и в некоторых странах функция пуска становится доступной только при задействовании выключателя.

В датчике положения педали сцепления имеется размыкающий контакт, отключающий функцию темпомата при нажатии педали сцепления и активизирующий стабилизацию холостого хода. У некоторых автомобилей дополнительно разблокируется стартер. В рамках самодиагностики проверяется правдоподобность сигналов и электрическая функция датчика. На рис. 10.15 показано расположение датчиков на педальном узле.

10.13.5. Контроль положения распределительного вала

Все новые двигатели оснащаются более или менее сложными системами регулировки распределительного вала/фаз газораспределения и хода клапанов. Эти системы регулируют фазы газораспределения в широком диапазоне нагрузок и оборотов. Регулировка фаз газораспределения позволяет использовать динамические потоки во впускном коллекторе для улучшения наполнения цилиндров, повышения мощности и крутящего момента и уменьшения выбросов ОГ. Можно улучшить внутреннюю рециркуляцию ОГ. Эта регулировка также имеет отношение к системе пуска и должна включаться в проверку OBD.

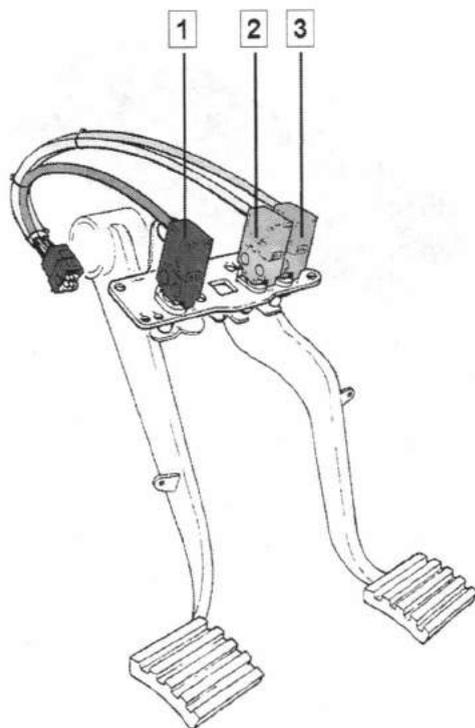


Рис. 10.15. Датчики на педальном узле

1. Датчик положения педали сцепления
2. Выключатель сигналов торможения
3. Датчик положения педали тормоза

Регулировка (поворот) происходит в основном бесступенчато для впускного и выпускного распределительных валов. В некоторых системах регулируется положение только впускного распределительного вала. Почти у всех систем давление масла направляется через электромагнитный клапан на механизм регулирования фаз газораспределения, который поворачивает распределительные валы относительно коленчатого вала.

Системы регулировки распределительных валов представляют собой замкнутые контуры регулирования. Через проверку электрической функции электромагнитного клапана (обрыв проводов или КЗ) осуществляется самодиагностика. Для проверки функционирования также проверяется правдоподобность сигналов датчика положения распределительного вала. Может выполняться проверка положения и направления регулировки (опережение/запаздывание). При обнаружении неисправностей в контуре регулирования они записываются в регистратор событий. Для точной диагностики неисправностей нужно обязательно соблюдать инструкции изготовителя по диагностике. Для этого требуются диагностические системы с достаточной глубиной проверки.

11. СИСТЕМЫ OBD ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (D-OBD)

С 01.01.2004 г. легковые автомобили с дизельными двигателями также должны быть оснащены системой OBD (D-OBD). Общие требования, предписания и протоколы (см. главу 9), такие как кодирование неисправностей, стандартизированный интерфейс, протоколы данных, обработка неисправностей и пр. такие же, как и для систем OBD бензиновых двигателей. Однако они имеют некоторые особенности и функции контроля систем, специфичные для дизельных двигателей.

11.1. Контролируемые системы и датчики D-OBD

Для некоторых систем дизельного двигателя можно использовать системы, уже известные по OBD бензиновых двигателей, без изменений либо с незначительными модификациями. Приведенные в таблице 11.1 системы контролируются через D-OBD в зависимости от используемой системы впрыска. В новых дизельных двигателях топливные насосы распределительного типа используются все реже.

Таблица 11.1. Контролируемые системы D-OBD

Контролируемые системы в D-OBD	ТНВД распределительного типа	Блок насос-форсунка	Система Common Rail
Функция регулирования начала впрыска	X		
Регулирование VIP		X	
Регулятор количества	X		
Форсунки			X
Распознавание сбоев сгорания	X	X	X
Функция рециркуляции ОГ	X	X	X
Отклонение рециркуляции ОГ	X	X	X
Система преднакала и функция дополнительного накала		X	

Контролируемые системы в D-OBD	ТНВД распределительного типа	Блок насос-форсунка	Система Common Rail
Давление в магистрали (клапан регулирования давления в топливной магистрали)			X
Контроль сажевого фильтра		X	X
Контроль катализатора	X	X	X
Функция регулировки давления наддува	X	X	X
Диагностика блоков управления	X	X	X
Диагностика CAN - шины		X	X
Контроль АКПП		X	X
Проверка всех датчиков и исполнительных механизмов, имеющих отношение к ОГ	X	X	X

Современные дизельные двигатели оснащаются топливной системой Common Rail либо системой насос-форсунка. В дизельных двигателях грузовых автомобилей применяется также система «насос-трубопровод-форсунка».

Наряду с известными деталями систем впрыска контролируются различные системы фильтрации частиц и новые катализаторы (SCR-катализаторы) на предмет эффективности, восстановления, аддитивности и срока службы. Контроль систем выполняется главным образом путем сравнения фактических параметров двигателя с заданными. При кон-

троле фактические данные должны изменяться в пределах установленных параметров. При выходе значений за допустимые пределы загорается индикатор неисправностей MIL и регистрируется неисправность. Регистрация и обработка неисправностей происходят также, как и в системах с бензиновыми двигателями. В следующих разделах описаны важнейшие процедуры контроля и проверки систем.

В таблице 11.2 перечислены датчики (если они установлены в двигателе), у которых контролируется функция и проверяется правдоподобность сигнала.

Таблица 11.2. Контролируемые датчики D-OBD

Контролируемые датчики D-OBD	ТНВД распределительного типа	Блок насос-форсунка	Система Common Rail
Датчик частоты вращения коленвала	X	X	X
Датчик температуры ОЖ	X	X	X
Датчик давления наддува	X	X	X
Датчик температуры наддувочного воздуха		X	X

Контролируемые датчики D-OBD	ТНВД распределительного типа	Блок насос-форсунка	Система Common Rail
Датчик массового расхода воздуха	X	X	X
Датчик температуры всасываемого воздуха	X	X	X
Датчик температуры топлива		X	X
Датчик давления топлива			X
Датчик подъема иглы форсунки	X		
Лямбда-зонды	X	X	X
Датчик скорости движения	X	X	X
Датчик NO _x		X	X
Датчик присадки для сажевого фильтра		X	X
Датчик дифференциального давления для сажевого фильтра		X	X
Датчик температуры перед катализатором и/или сажевым фильтром		X	X

11.2. Распознавание пропусков сгорания в D-OBD

У дизельных двигателей, также как и у бензиновых, селективное распознавание пропусков сгорания в отдельных цилиндрах служит для улучшения качества ОГ и повышения мощности двигателя. Распознавание пропусков сгорания предотвращает попадание несгоревшей смеси в поток ОГ и ухудшение комфорта езды и безопасности движения.

При возникновении пропусков сгорания возникает неравномерность вращения коленчатого вала. Для распознавания пропусков сгорания используются схожие методы анализа, что и в бензиновых двигателях. Анализ пропусков сгорания выполняется селективно по отдельным цилиндрам с помощью датчика частоты вращения коленчатого вала. Методы распознавания пропусков сгорания почти не отличаются от используемых в бензиновых двигателях, так как и в том и в другом случаях задачи одинаковы (см. раздел 10.2).

Тот же метод используется у дизельных двигателей и для улучшения равномерности работы на холостом ходу. Эта регулировка плавности хода призвана распознавать различия крутящего момента через колебания оборотов, возникающие, к примеру, из-за конструктивных допусков деталей или разной степени сжатия в цилиндрах. Из-за этих колебаний может возникнуть неровная работа двигателя и повышенные выбросы вредных веществ. Путем селективного регулирования количества топлива, впрыскиваемого в отдельные цилиндры, колебания оборотов компенсируются. Для распознавания на холостом ходу анализируется сигнал датчика частоты вращения коленчатого вала. Если ЭБУ распознает неровную работу двигателя, то в соответствующие цилиндры будет подаваться больше либо меньше топлива. Регулировка выполняется до тех пор, пока двигатель снова не начнет работать ровно.

У более старых двигателей с насосом распределительного типа распознавание

ВМТ осуществляется с помощью датчика подъема иглы форсунки. Он непрерывно сигнализирует о положении цилиндра (на форсунке которого расположен датчик подъема иглы), и на основании его положения электроника вычисляет положения других цилиндров.

11.3. Смещение начала впрыска (только двигатели с насосом распределительного типа)

У двигателей с насосом распределительного типа контролируется регулирование начала впрыска. Начало впрыска влияет на множество свойств, таких как поведение при пуске, расход топлива и выбросы

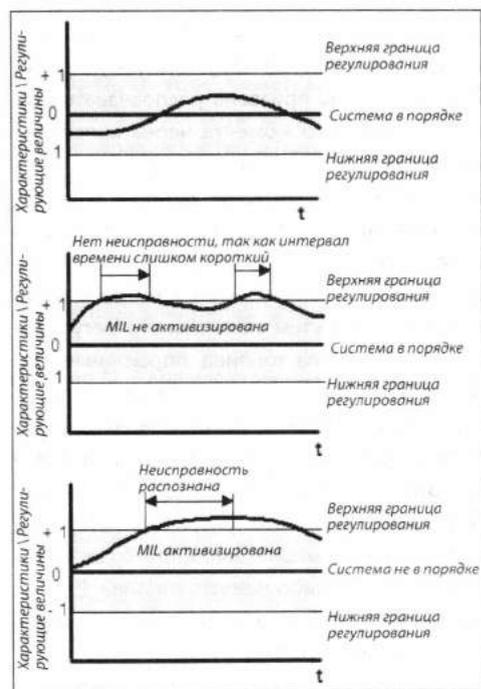


Рис. 11.1. Принцип распознавания отклонений

ОГ. Задача регулирования начала впрыска — определение нужного момента подачи топлива насосом. ЭБУ вычисляет этот момент на основании:

- оборотов;
- температуры ОЖ;
- высоты подъема иглы;
- рассчитанной массы топлива.

Из этих значений определяются характеристики, которые должны находиться в заданном диапазоне. Если фактически измеренные значения в течение определенного времени будут за пределами заданного диапазона, то регистрируется ошибка момента начала впрыска и загорится индикатор MIL. На рис. 11.1 показан принцип распознавания отклонения.

Если смещение момента начала впрыска в норме, то измеренное смещение остается в пределах заданного диапазона, и неисправность не регистрируется.

Если измеренное смещение выходит за пределы заданного диапазона лишь кратковременно, то неисправность не регистрируется и индикатор MIL не загорается.

Если измеренное смещение выходит за пределы заданного диапазона в течение определенного времени, то регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

У двигателей с системой «насос — форсунка» процесс впрыска контролируется через BIP-регулирование (BIP — Beginning of Injection Period, англ. «начало впрыска»). При этом блок управления двигателем контролирует ток клапана для блока «насос-форсунка». На основании этого ЭБУ получает обратную связь о фактическом начале впрыска и регулировании начала впрыска. Если BIP находится в заданных пределах, то клапан в порядке. Если BIP выходит за заданные пределы — значит клапан неисправен. В этом случае регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

11.4. Контроль рециркуляции ОГ

Нормальная работа рециркуляции ОГ важна для снижения выбросов оксидов азота, особенно у дизельных двигателей. Тип контроля рециркуляции ОГ зависит от того, какой клапан системы рециркуляции ОГ установлен в системе — пневматический или электрический. В новых системах чаще устанавливается электрический клапан. Он быстрее и точнее реагирует, его проще контролировать. Контроль рециркуляции ОГ осуществляется с помощью датчика массового расхода воздуха. Принцип контроля основан на том, что всасываемая воздушная масса при активированной рециркуляции ОГ должна быть меньше, чем при отключенной рециркуляции ОГ. Для этого контролируется массовый расход воздуха на момент подачи ОГ и сравнивается с сохраненными номинальными значениями. Общая масса газа во впускном коллекторе вычисляется на основе оборотов, давления наддува и температуры наддувочного воздуха. По сигналам датчика массового расхода воздуха определяется фактически всасываемая масса воздуха. На основании этих двух величин ЭБУ определяет интенсивность рециркуляции ОГ и сравнивает ее с сохраненными номинальными значениями. При отклонении от номинальных значений загорается индикатор MIL и регистрируется неисправность.

11.4.1. Отклонение параметров рециркуляции ОГ (рециркуляция с пневматическим клапаном)

Состояние пневматических клапанов рециркуляции ОГ определяется с помощью датчика массового расхода воздуха. Это реализуется через отклонение параметров рециркуляции ОГ. Недостатком этого варианта является относительно медленная реакция на возможные неисправности. Для

диагностики рециркуляции ОГ вычисляется допустимый диапазон значений воздушной массы на основании сигналов датчика оборотов двигателя, номинальной воздушной массы и расхода впрыскиваемого топлива. Если в течение заданного времени фактически измеренная масса воздуха окажется за пределами диапазона, то распознается неисправность системы рециркуляции ОГ.

Система исправна, если измеренные отклонения остаются в пределах номинального диапазона. Если измеренное отклонение выходит за пределы диапазона лишь кратковременно, то неисправность не регистрируется. Система считается исправной. Если измеренное смещение выходит за пределы заданного диапазона в течение определенного времени, то регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

11.4.2. Регулировка положения в системе рециркуляции ОГ (рециркуляция с электрическим клапаном)

У двигателей с системой фильтрации частиц часто используется электрический клапан рециркуляции ОГ, обеспечивающий быструю регулировку нужной интенсивности рециркуляции. Эта технология позволяет распознать любое положение клапана рециркуляции. С таким клапаном возможна точная регулировка его положения, так как датчик перемещения (расположенный на штоке клапана) распознает точное положение клапана и отправляет соответствующий сигнал на ЭБУ. Время реакции регулятора рециркуляции на изменения значительно сокращается. Проверка электрического клапана происходит в рамках контроля электрических компонентов. Дополнительно может быть выполнена проверка правдоподобности сигналов датчика перемещения в рамках сравнения фактической массы всасываемого воздуха с номинальной.

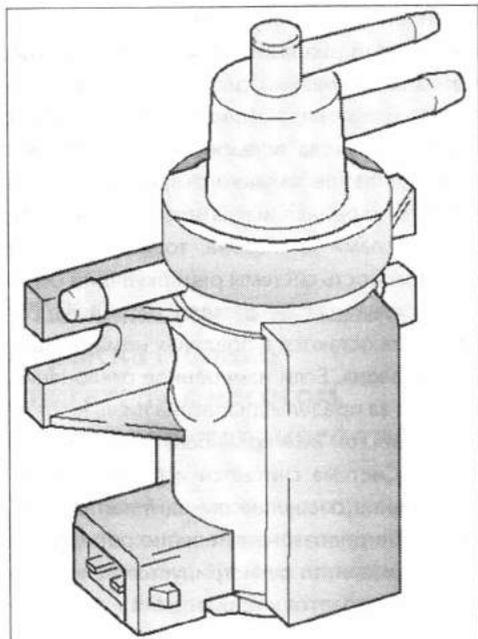


Рис. 11.2. Электромагнитный клапан регулировки давления наддува



Рис. 11.3. Датчик давления наддува

11.5. Отклонение давления наддува

У турбонаддувных двигателей с регулируемой геометрией турбины особенно важно контролировать отклонения давления наддува. Для ограничения давления наддува блок управления двигателем активирует

электромагнитный клапан (рис. 11.2) и, в зависимости от выбранной скважности, в мембранном механизме вакуумного регулятора направляющей лопатки устанавливается разрежение. Таким образом, регулируется нужное давление наддува.

Контроль отклонения давления наддува происходит аналогично контролю отклонения рециркуляции ОГ. Контроль возможен только при определенных оборотах коленчатого вала и расходе впрыскиваемого топлива. Если отклонения в течение определенного времени выходят за пределы заданного диапазона, то в системе наддува диагностируется неисправность.

Если измеренное отклонение выходит за пределы диапазона лишь кратковременно, то неисправность не регистрируется. Если измеренное смещение выходит за пределы заданного диапазона в течение определенного времени, то регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

Датчик давления наддува (рис. 11.3)

Контроль давления наддува должен выполняться у всех дизельных двигателей, так как оно влияет на наполнение цилиндров и, помимо мощности и крутящего момента, особенно на выбросы частиц и оксидов азота. Проверка правдоподобности сигналов датчика давления наддува выполняется при неработающем двигателе между включением зажигания и пуском двигателя. Для проверки сравниваются значения, измеренные датчиком давления наддува и датчиком атмосферного давления. На основании этого сравнения получается дифференциальное давление, среднее значение которого не должно превышать заданного порогового значения. Если измеренное дифференциальное давление не превышает порогового значения, то датчик давления наддува считается исправным.

11.6. Система преднакала

Системы преднакала у дизельных двигателей работают в зависимости от температуры на различных ступенях. Нормальный преднакал улучшает холодный пуск. Дополнительный накал после холодного пуска служит для быстрого прогрева камеры сгорания. Время дополнительного накала зависит от времени работы двигателя после пуска и температуры охлаждающей жидкости. Эта фаза дополнительного накала может длиться до 3 минут после пуска. В зависимости от конфигурации системы дополнительный накал может использоваться и при температуре охлаждающей жидкости более 20 °С. Это служит для снижения выбросов ОГ в фазе прогрева и уровня шума. Таким образом, система преднакала связана с системой выпуска и должна контролироваться системой D-OBD.

Контроль системы преднакала, как правило, выполняется электрически. Для дополнительного накала используется отдельный автоматический таймер. При запуске он должен активироваться командой ЭБУ двигателя. Затем ЭБУ автоматического таймера накала отправляет блоку управления двигателем диагностический протокол. С этим протоколом на блок управления двигателем отправляются распознанные электрические неисправности, такие как КЗ или обрыв провода. Новые системы выполняют контроль отдельных свечей накаливания и тем самым распознают выход их из строя. При распознавании неисправности она регистрируется, и загорается индикатор MIL.

Контроль позволяет распознавать следующие неисправности:

- слишком большой ток в цепи накала;
- КЗ в цепи накала;
- отключение при слишком большом токе в цепи накала;
- выход свечи накаливания из строя из-за обрыва цепи.

11.7. Контроль прочих систем и отдельных датчиков

Контроль отдельных систем и датчиков в D-OBD выполняется аналогично алгоритмам OBD у бензиновых двигателей. Поэтому мы лишь кратко остановимся на некоторых деталях. Общий контроль прочих систем и датчиков зависит от типа автомобиля и уровня оснащения. Проверяется электрическая функция всех датчиков, исполнительных механизмов и выходных каскадов, а также правдоподобность сигналов. Каждый ЭБУ контролирует подключенные к нему датчики, исполнительные механизмы и выходные каскады по падению напряжения. Проверка выполняется по следующим критериям:

- входные и выходные сигналы;
- замыкание на массу деталей и/или сигнальную массу;
- КЗ детали или сигнала;
- обрыв цепи.

Отдельные датчики, как и в случае с OBD бензиновых двигателей, проверяются на три типа ошибок — правдоподобность сигналов датчиков, постоянно измеряемые значения и выходы за пределы диапазонов.

11.7.1. Диагностика CAN — шины

ЭБУ дизельного двигателя «знает» блоки управления, относящиеся к D-OBD и обменивающиеся данными по CAN — шине. При отсутствии ожидаемых сообщений от определенного электронного блока распознается и регистрируется неисправность. Примеры ЭБУ на CAN — шине, имеющих отношение к D-OBD:

- ЭБУ с блоком индикации на панели приборов;
- ЭБУ систем управления динамикой движения;
- ЭБУ АКПП;

- ЭБУ свечей накаливания;
- ЭБУ системы восстановления фильтра или SCR.

Если CAN — шина исправна, то все подключенные к ней ЭБУ регулярно отправляют данные на блок управления двигателем. Тот распознает, что все ожидаемые сообщения получены, и обмен данными работает нормально. При обрыве CAN — шины один или несколько ЭБУ не будут отправлять данные. Эту ситуацию распознает ЭБУ двигателя, идентифицирует такой или такие ЭБУ и регистрирует соответствующую неисправность.

Для D-OBД важно, чтобы обмен данными по CAN — шине происходил нормально. По шине данных отправляются команды других ЭБУ на включение индикатора MIL. При наличии неисправности, к примеру, в ЭБУ АКПП через CAN — шину на блок управления двигателем должен быть отправлен сигнал активации индикатора MIL, поскольку неисправность в АКПП может иметь последствия и для системы выпуска ОГ.

11.7.2. Датчик температуры охлаждающей жидкости

Для проверки правдоподобности измеренных значений датчика температуры охлаждающей жидкости оценивается реальное время прогрева в заданном временном промежутке. Измеренные значения считаются правдоподобными, если датчик температуры ОЖ при работающем двигателе выдаст в течение заданного времени определенное пороговое значение или определенный рост температуры. При этом заданное время зависит от начальной температуры ОЖ.

Так, например, начальная температура ОЖ более 10°C в течение 2 минут может превысить 20°C. Если при начальной температуре менее 10°C датчик в течение 5 минут распознает рост температуры ОЖ на 10°C, то сигнал также будет считаться правдопо-

добным. В этих случаях исходят из того, что датчик ОЖ исправен.

Если при начальной температуре менее 10°C в течение 5 минут она не вырастет до 20°C или на 10°C, значит значения неправдоподобны. Неисправен сам датчик или его цепь, регистрируется неисправность.

11.7.3. Датчик температуры топлива

Все системы впрыска дизельного топлива подают больше топлива, чем необходимо для работы двигателя. Излишек топлива возвращается в бак через возвратный трубопровод, датчик температуры топлива и радиатор охлаждения топлива. В современных системах впрыска высокого давления температура возвратного топлива достигает 140°C. Сигналы датчика температуры топлива используются также для подключения или отключения радиатора охлаждения топлива или нагревателя топлива. Датчик температуры топлива представляет собой датчик с отрицательным температурным коэффициентом (NTC). Он находится в возвратном трубопроводе, между топливным насосом и радиатором охлаждения топлива.

Вязкость дизельного топлива изменяется в зависимости от температуры. Таким образом, температура топлива непосредственно влияет на фактически впрыскиваемое количество топлива, что, в свою очередь, влияет на токсичность выхлопа двигателя. Чтобы учесть плотность топлива при различных температурах блоку управления двигателем требуется фактическая температура топлива — для расчета момента начала впрыска и объема впрыска. В системах Common Rail температура топлива влияет также на фактическое давление в магистрали. Необходим контроль работоспособности датчика. Диапазон измерения у датчика температуры топлива, как правило, состав-

ляет от -40°C до 120°C . ЭБУ учитывает изменение вязкости путем коррекции времени открывания форсунок. Вообще, значения считаются правдоподобными, если в течение цикла движения температура топлива поднимается на определенное количество градусов — например, на 10°C или в течение нескольких часов работы регистрируется заметно больший рост температуры топлива, например, на 30°C .

11.7.4. Термоанемометрические пленочные датчики массового расхода воздуха

Датчики массового расхода воздуха особенно чувствительны к загрязнению маслом и к отложениям. На основе оборотов, давления наддува и температуры наддувочного воздуха блок управления двигателем вычисляет номинальную массу воздуха. Фактически измеренное датчиком массового расхода воздуха значение сравнивается с вычисленным, и образуется относительная величина. Если в течение заданного интервала времени относительная величина превышает определенное пороговое значение, то распознается неисправность. Если датчик массового расхода воздуха в порядке, то вычисленное относительное значение колеблется около нуля. С помощью проверки правдоподобности функции датчика массового расхода воздуха можно распознать следующие неисправности:

- негерметичность в тракте забора воздуха двигателя;
- загрязнение датчика массового расхода воздуха, поскольку измеренные значения не отражают фактический режим работы двигателя;
- клапан рециркуляции, заклинивший в открытом положении;
- неправильно работающую систему охлаждения наддувочного воздуха.

11.7.5. Лямбда-зонд и регулирование обогрева лямбда-зонда

У дизельных двигателей в сочетании с системами фильтрации частиц используются лямбда-зонды. В силу характеристики сигнала и всегда бедных смесей у дизельных двигателей для этого очень подходят широкополосные лямбда-зонды. Правдоподобность измеренной лямбда-зондом концентрации кислорода в ОГ можно проверить в двух рабочих точках. В диапазоне частичной нагрузки значение лямбда можно сравнить с концентрацией кислорода, вычисленной на основе расхода впрыска и поступившей массы воздуха. Разность между вычисленным и измеренным значениями допускается лишь в пределах узкого диапазона. В режиме принудительного холостого хода проверка правдоподобности выполняется в сравнении с концентрацией кислорода в окружающем воздухе (20,6%). Поскольку впрыск не выполняется, измеренная концентрация кислорода в ОГ должна примерно соответствовать концентрации кислорода в окружающем воздухе. Если ЭБУ двигателя в обоих случаях выявит слишком большую разность этих значений, то будет зарегистрирована неисправность, но индикатор MIL не загорится, поскольку неисправности лямбда-зонда у дизельных двигателей не приводят к увеличению выбросов и поэтому не контролируются системой D-OBD.

В рамках проверки электрической функции элементов систем фильтрации частиц контролируется и регулировка обогрева лямбда-зонда. При этом значение внутреннего датчика температуры лямбда-зонда сравнивается с температурой в нормальной рабочей точке. Если ЭБУ двигателя при проверке выявит слишком большое отклонение температуры от заданной номинальной, то ЭБУ регистрирует неисправность системы выпуска ОГ и загорится индикатор MIL.

11.7.6. Сигнал скорости

Сигнал скорости используется многими ЭБУ. Информация о скорости движения передается на электронику от датчиков ABS или отдельного датчика скорости. Датчики проверяются на наличие электрических неисправностей. Сигнал скорости косвенно сравнивается с фактическим расходом впрыскиваемого топлива и соответствующими оборотами двигателя. ЭБУ определяет правдоподобность сигнала скорости по сравнению с другими данными. Еще одной возможностью является прямая обработка фактического сигнала датчика скорости и проверка его правдоподобности. При выявлении неправдоподобных значений ЭБУ регистрирует неисправность и загорается индикатор MIL.

11.8. Контроль сажевого фильтра

Контроль систем фильтрации частиц у современных дизельных двигателей — одна из важнейших и технически сложнейших функций контроля D-OBД. В плане выбросов мелкой пыли и связанного с этим масштабного использования сажевых фильтров этот контроль имеет особое значение в рамках D-OBД. Необходимые процедуры для долговременного

контроля фильтров должны внедряться всеми изготовителями. В силу определенных физико-химических условий восстановления сажевых фильтров процедуры контроля у всех автомобилей протекают одинаково (см. также раздел 8.3).

11.8.1. Датчики давления и температуры перед и за фильтром

Датчик дифференциального давления (рис. 11.4) системы фильтрации частиц определяет фактическое дифференциальное давление потока ОГ перед и за сажевым фильтром. Возможно также использование двух отдельных датчиков давления. С помощью сигналов датчиков температуры перед и за сажевым фильтром ЭБУ вычисляет текущий объемный расход ОГ. Датчики температуры имеют положительный температурный коэффициент (ПТС).

На основании этих данных регулирующая электроника определяет состояние нагрузки (степень засорения) сажевого фильтра. Сигнал датчика температуры после сажевого фильтра дополнительно требуется для вычисления расхода дополнительного впрыска топлива в режиме принудительного холостого хода. Чем выше температура ОГ после сажевого фильтра, тем меньше необходимое количество дополнительного впрыска топлива. Кроме того, сигналы датчиков температуры используются для активации функций защиты деталей при слишком высокой температуре ОГ.

Эти сигналы призваны защитить сажевый фильтр от термических повреждений. Сигналы датчиков давления и температуры перед и за сажевым фильтром, а также показания датчика массового расхода воздуха образуют неделимое целое при определении степени засорения фильтра. Это одни из важнейших данных, имеющих отношение к системе выпуска. Проверка датчиков выполняется в рамках контроля электрической функции.

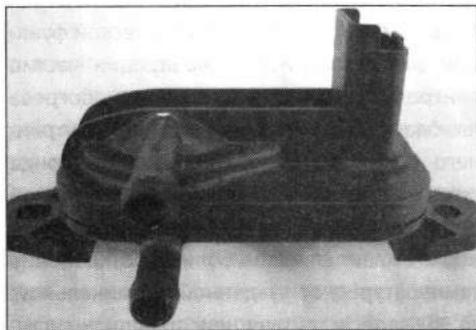


Рис. 11.4. Датчик дифференциального давления

Проверка правдоподобности сигналов датчиков давления выполняется между включением зажигания и пуском двигателя. Для проверки сравниваются значения, измеренные датчиками давления ОГ и датчиком атмосферного давления. На основании этого сравнения получается дифференциальное давление, среднее значение которого не должно превышать запрограммированного порогового значения. После каждого выключения двигателя заново калибруется нулевое значение датчика дифференциального давления. Это позволяет надежно распознавать демонтаж сажевого фильтра из системы выпуска ОГ.

При выходе датчиков из строя или отсутствии сигналов датчиков восстановление сажевого фильтра выполняется сначала циклически в зависимости от пробега, расхода топлива или количества моточасов работы двигателя. Таким образом, длительное, технически и экологически безопасное восстановление сажевого фильтра невозможно. После определенного количества циклов движения в эквивалентном режиме загорается контрольная лампа сажевого фильтра, затем индикатор MIL системы D-OBD и регистрируется неисправность.

11.8.2. Датчик температуры перед турбокомпрессором

Дополнительный впрыск позволяет достичь повышения температуры ОГ, необходимого для сгорания частиц. Датчик температуры находится в выпускном тракте перед турбокомпрессором и измеряет температуру ОГ. Датчик температуры имеет положительный температурный коэффициент (ПТС). Сигнал датчика температуры перед турбиной необходим блоку управления для вычисления момента начала дополнительного впрыска в фазе восстановления сажевого фильтра. Кроме того, турбокомпрессор защищается

от недопустимо высокой температуры в фазе восстановления. При выходе датчика температуры из строя турбокомпрессор больше не может быть защищен от высокой температуры. Восстановление сажевого фильтра через дополнительный впрыск больше не происходит. Чтобы уменьшить выбросы сажи, можно уменьшить или отключить рециркуляцию ОГ. Однако в результате этого увеличиваются выбросы оксидов азота. При выходе датчика температуры из строя регистрируется неисправность и загорается индикатор MIL.

11.8.3. Лямбда-зонд и датчик массового расхода воздуха

Лямбда-зонд в дизельных двигателях используется в сочетании с датчиком массового расхода воздуха для выполнения двух задач. Во-первых, для точного расчета расхода топлива и для проверки циклов восстановления сажевых фильтров. Регулирующая электроника на основании сигналов лямбда-зонда и датчика массового расхода воздуха вычисляет необходимый расход топлива для всех цилиндров. При возникновении отклонений от сохраненных значений расхода топлива корректируется интенсивность рециркуляции ОГ. В этой связи лямбда-зонд используется также для коррекции сигнала датчика массового расхода воздуха. Регулирующая электроника вычисляет фактический расход топлива на основании сигналов лямбда-зонда и датчика массового расхода воздуха, сравнивает значения с заданными и корректирует отклонение расхода топлива в характеристике. Эта коррекция происходит медленно, так что сначала D-OBD определяет неисправность, но индикатор MIL не загорается. Из-за медленного регулирования значения не определяются в режимах 1 и 6 (глава 9).

Для дополнительного контроля восстановления сажевых фильтров особенно подходят широкополосные лямбда-зонды.

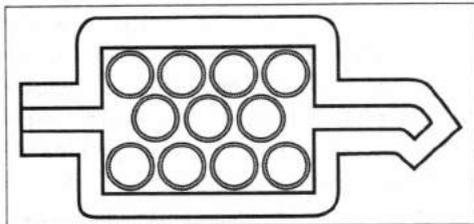


Рис. 11.5. Контрольная лампа

С помощью зонда определяется концентрация кислорода в ОГ в большом диапазоне измерений. Для быстрого и эффективного восстановления сажевого фильтра требуется определенная минимальная концентрация кислорода в ОГ по возможности при постоянно высокой температуре ОГ. Это оптимизированное регулирование восстановления реализуется сигналом лямбда-зонда во взаимодействии с сигналом датчика температуры перед турбокомпрессором. При отсутствии сигнала лямбда-зонда восстановление сажевого фильтра становится менее точным, но остается технически безопасным.

Измеренное датчиком массового расхода воздуха значение определяет фактически поступившую воздушную массу. В сочетании с контролем восстановления сажевого фильтра сигнал датчика массового расхода воздуха используется для вычисления объемного расхода ОГ. На основании этого расчета определяется степень засорения сажевого фильтра.

При выходе датчиков из строя или отсутствии сигналов датчиков восстановление сажевого фильтра выполняется сначала циклически в зависимости от пробега, расхода топлива или количества моточасов работы двигателя. Однако длительное время сажевый фильтр не может технически безопасно восстанавливаться в таком режиме. После определенного количества циклов движения в эквивалентном режиме загорается контрольная лампа сажевого фильтра, затем индикатор MIL системы D-OBД и регистрируется неисправность.

11.8.4. Контрольная лампа сажевого фильтра

Контрольная лампа сажевого фильтра (рис. 11.5) находится на панели приборов в поле зрения водителя. Она загорается, когда сажевый фильтр не может восстанавливаться из-за поездок на слишком короткие расстояния или возникновении неисправностей в системе. Контрольная лампа в большинстве случаев желтая и дополняет индикатор MIL.

При частых поездках на короткие расстояния восстановление сажевого фильтра может ухудшиться. Поскольку достаточного восстановления не происходит, возможно повреждение или блокада фильтра из-за переполнения сажей. Во избежание этого при превышении заданного предельного заполнения сажей загорается контрольная лампа. Система рекомендует водителю проехать какое-то расстояние в определенном режиме. По завершении движения в этом режиме контрольная лампа должна погаснуть. Если лампа не гаснет, то загорается индикатор неисправностей системы OBD, и на дисплей выводится сообщение о необходимости посетить ближайшую СТО.

Символика контрольной лампы для сажевого фильтра не регламентируется и может свободно выбираться изготовителем. Часто на информационном дисплее автомобиля отображается дополнительная текстовая информация или предупреждение.

11.8.5. Контроль систем фильтрации частиц с присадкой

Контроль восстановления сажевых фильтров с присадкой аналогичен контролю в системах без присадки. С помощью датчика дифференциального давления регулирующая электроника распознает степень засорения фильтра. Для восстановления фильтра блок управления двигателем запускает моментально нейтральный дополнительный впрыск. Для

управления восстановлением анализируются два значения — значение лямбда и необходимая температура ОГ. Однако дополнительно требуется контроль системы впрыска присадки. При этом проверяется электрическая функция следующих датчиков:

- датчик уровня присадки в бачке;
- насос подачи присадки;
- датчик температуры перед турбокомпрессором;
- лямбда-зонд;
- датчик температуры перед сажевым фильтром;
- датчик дифференциального давления.

11.9. Датчики сажи для контроля сгорания или сажевых фильтров

Способность углерода проводить электрический ток используется для транспортировки электрических зарядов. Датчик сажи (рис. 11.6) находится в выпускной трубе и использует свойство частиц сажи — перенос заряда. Его можно было бы размещать аналогично лямбда-зонду в системе выпуска. При прохождении через сильное электрическое поле частицы направляются кулоновскими силами и за счет собственного заряда к положительной или отрицательной пластине конденсатора, и там электрически заряжаются. При напряжении 1500 В между пластинами не должно быть большого расстояния. Однако, несмотря на это, должна быть обеспечена защита от искрового пробоя. Поскольку частицы после контакта с пластинами конденсатора имеют тот же заряд, что и электроды, то они отталкиваются друг от друга. Процесс зарядки частиц и отток электрического заряда от измерительного конденсатора при постоянном

высоком напряжении создает зарядный ток, измеряемое значение которого представляет собой количество частиц. Измерительный электрод конденсатора через высокоомный резистор подключается к массе. На резисторе происходит падение напряжения зарядного тока, который усиливается и анализируется. При низкой скорости ОГ может произойти больше процессов зарядки, сигнал при этом соответственно повышается. Поэтому для вычисления концентрации частиц сажи необходимо определить скорость ОГ. При измерении в полном потоке двигателя скорость вычисляется на основе массовых расходов воздуха и топлива, а также температуры ОГ. Для высокоточных измерений байпасное измерение будет преимуществом, так как частичный поток подается насосом с постоянной скоростью.

Результат измерения концентрации сажи зависит от величины высокого напряжения, площади и длины электродов и скорости ОГ. Необходимым условием является работа датчика только при температуре более 120 °С, чтобы в ОГ не конденсировались углеводороды. Это условие выполняется за счет нагрева держателей электродов до 300 °С во избежание отложений сажи на изоляторах электродов. Нужно исходить из того, что с вводом Евро-5 — первые сажевые фильтры стали оснащаться датчиками количества сажи. Датчик

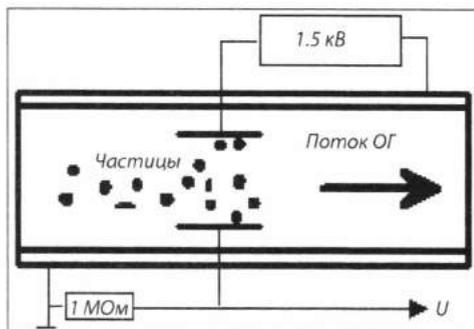


Рис. 11.6. Принцип работы датчика сажи

можно использовать для контроля функциональности сажевого фильтра либо для запуска восстановления фильтра. В любом случае сигналы датчика сажи будут использоваться системой D-OBD.

Датчик сажи можно также использовать и в диагностических системах на СТО, что позволило расширить проведение и точность проверки токсичности ОГ. Вот список проблем перед запуском датчика сажи в серийное производство:

- оптимизация определения нелинейной зависимости между скоростью ОГ и плотностью частиц;
- уменьшение разброса измеренных значений;
- обеспечение подачи высокого напряжения;
- повышение эффективности в фазе прогрева при холодном запуске, так как до про-

грева датчика до 200°C проходит около 5 минут;

- обеспечение высокого сопротивления изоляции перед подачей высокого напряжения;
- повышение вибростойкости датчика для уменьшения резонансов;
- автоматическое измерение сопротивления в датчике;
- повышение стойкости к агрессивным средам.

Прочие разрабатываемые технологии для датчиков сажи:

- измерение сопротивления сажи, откладывающейся на электродах;
- индуцированное лазером измерение с помощью специальных газов;
- фотоакустическое измерение;
- оптическое измерение.

12. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДПИСЫВАЕМЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Простые диагностические функции OBD заключаются в контроле электрической функции деталей. Он реализуется без каких-либо технических проблем. Сюда относится распознавание обрывов проводов, КЗ и неисправных компонентов. Контроль основывается чаще всего на спецификациях отдельных компонентов и их известных электрических характеристиках. Неисправности распознаются независимо от оборотов и нагрузки. Решающее значение для включения индикатора MIL при неисправности какой-либо детали имеют ожидаемые выбросы, дополнительно возникающие при появлении определенной неисправности. Это, в свою очередь, зависит от влияния данного компонента на функции управления двигателем, имеющие отношение к системе выпуска, и на запрограммированные реакции системы на неисправности. В простых системах, таких как система распознавания пропусков зажигания, отношение к системе выпуска определяется легко, и индикатор MIL может быть включен быстро.

Расширенные диагностические функции обеспечивают больше контроля всех подфункций системы управления двигателем, таких как замкнутые контуры регулирования

и проверки правдоподобности сигналов отдельных датчиков и исполнительных механизмов. Диагностика выполняется на основе записанных в ЭБУ вычислительных моделей. Для расширенных диагностических функций необходим точный анализ картины выбросов в случае неисправности и определение соответствующих порогов срабатывания и пороговых значений, обеспечивающих регистрацию неисправностей и включение индикатора MIL.

Описанная проблема становится очевидной, к примеру, у датчиков массового расхода воздуха в дизельных двигателях. Дополнительно к контролю электрической функции датчика массового расхода воздуха он проверяется с помощью вычислительной модели. При этом подаваемая воздушная масса вычисляется с помощью общего газового уравнения из температуры, давления и рабочего объема. С помощью этой вычислительной модели можно определить смещение выходной величины (дрейф) у датчика массового расхода воздуха. Однако всасываемая воздушная масса используется и в качестве входной величины для системы рециркуляции ОГ. Дрейф датчика массового расхода воздуха приводит также к изменению интенсивности рециркуляции

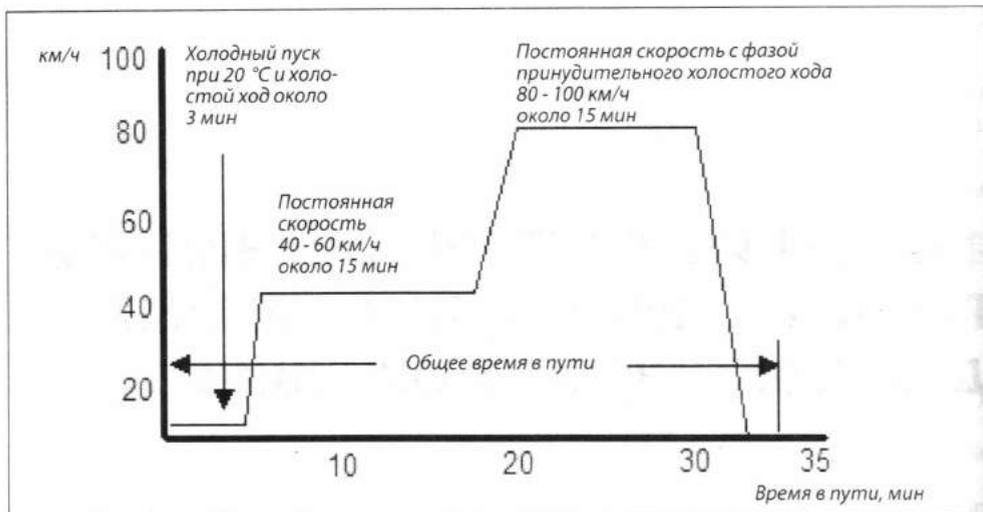


Рис. 12.1. Цикл движения для контроля системы с условиями для нагрузки и оборотов

ОГ и, следовательно, к изменению выбросов частиц и оксидов азота. Максимально допустимый дрейф определяется опытным путем и ложится в основу расчета порогов срабатывания при включении индикатора MIL. По аналогии с простой диагностикой к расширенной диагностике также предъявляются новые требования. Все сохраненные пороговые значения должны обеспечивать соблюдение предельных значений OBG.

12.1. Временная организация диагностических функций

Основополагающим условием для всех диагностических функций и проверок является обеспечение выполнения системных проверок в рамках предписанного цикла движения. Для простой диагностики и процедур проверки это условие выполняется, как правило, без проблем.

Расширенные диагностические функции имеют различные главные меню и подменю

с условиями разблокировки перед выполнением процедур проверки. Определенные диагностические функции требуют, к примеру, чтобы двигатель работал в режиме принудительного холостого хода. В этом режиме топливо не впрыскивается, а клапан рециркуляции ОГ закрыт, что исключает возмущающие воздействия. Для правильного протекания диагностических функций решающее значение имеет длительность того или иного режима работы. Для надежной диагностики различных компонентов часто требуется несколько секунд движения в режиме принудительного холостого хода при постоянных условиях работы. На практике это значительно уменьшает количество фактически используемых фаз принудительного холостого хода. В результате неисправный компонент, имеющий отношение к системе выпуска, не всегда может быть просигнализирован индикатором MIL в течение предписанных циклов движения. Помимо гарантирования регистрации неисправностей в течение циклов движения в рамках типовой проверки нужно еще учитывать реальные условия движения, не всегда

достижимые при предписанных условиях для циклов движения в рамках типовой проверки.

Из-за постоянного роста количества обязательных диагностических функций все большее значение приобретает внутренняя временная организация отдельных циклов диагностики в режиме движения. Различные диагностические функции, которые в силу процедур проверки ожидают тех же условий работы, необходимо организовать по времени так, чтобы их можно было выполнять в рамках цикла движения. При этом диагностические функции не должны взаимно влиять друг на друга либо исключать друг друга и не должны приводить к изменению пороговых значений. Проблемы временной организации диагностических функций возникают особенно при частых поездках на короткие расстояния и недостаточном прогреве двигателя.

На рис. 12.1 показан пример необходимых внутренних условий для цикла движения в рамках контроля систем. Запускаемый контроль в пределах цикла движения прерывается, если:

- обороты двигателя превышают 3000 мин⁻¹;
- скорость движения превышает 100 км/ч;
- сильно меняются характеристики движения;
- сильно колеблется нагрузка;
- сажевый фильтр находится в режиме восстановления;
- двигатель выключается в пределах цикла движения.

12.2. Рассмотрение различных вариантов автомобилей

При проектировании и адаптации процедур проверки и диагностических функций, приводящих к включению индикатора MIL и регистрации неисправностей, разработчики долж-

ны учитывать спецификации автомобиля. Даже если отдельные автомобили или типы у одного автопроизводителя кажутся одинаковыми, часто разница заключается в деталях программирования. Приведенные ниже примеры кратко иллюстрируют эту проблематику.

Различные типы кузова

В рамках одной модели часто изготавливается несколько типов кузова (седан, универсал, кабриолет и пр.), для которых существуют соответственно различные модели выбросов ОГ. Значения выбросов, определенные для базового типа, необходимо заново определить для других типов кузова. В случае недостаточной применимости значений базового типа нужно повторить или заново адаптировать части внутренней проверки OBD. Если, к примеру, в результате изменений кузова изменяется расположение впускного и выпускного трактов или конструкция системы охлаждения, то во многих случаях требуется коррекция и точная подгонка диагностических функций и условий под процедуры проверки OBD. На фоне все более точной параметризации и адаптации систем даже небольшие изменения имеют значительные последствия для картины выбросов.

Различные варианты КПП

Почти во всех случаях применения различных вариантов КПП в одном автомобиле смещаются рабочие точки двигателя при использовании механических КПП, вариаторов или традиционных АКПП. Изменения диапазона нагрузок и оборотов приводят к тому, что необходимые условия разблокировки диагностических функций и процедур проверки не всегда выполняются, и предусмотренные диагностические функции не реализуются вообще либо реализуются лишь частично. В этих случаях необходимо адаптировать условия разблокировки к OBD

с соответствующим вариантом КПП и перепрограммировать ЭБУ.

Разные регионы сбыта

Прямой перенос условий европейской EOBD на условия американской OBD невозможен. Помимо разных предельных значений OBD различаются также пороги выбросов и предписанные циклы движения. В этом случае необходимо заново адаптировать и перепрограммировать диагностические функции и процедуры проверки. Перенос американской OBD на европейскую EOBD теоретически возможен. Однако здесь нужно учитывать, что из-за узких порогов срабатывания у американской версии OBD не соблюдаются слишком жесткие ограничения для европейского рынка. С другой стороны американский стандарт имеет резерв на соблюдение более жестких в перспективе европейских стандартов. Соблюдение японских стандартов требует дополнительной адаптации.

Кроме того, при адаптации к различным регионам сбыта нужно учитывать региональное качество топлива (особенно по содержанию серы) и различные условия циклов движения для типовых испытаний. Условия американских, японских и европейских циклов движения значительно различаются, из-за чего требуются разные условия разблокировки и процедуры проверки. Также нужно заранее учитывать разные сроки ввода новых норм токсичности ОГ и экономико-правовые последствия их несоблюдения.

12.3. Рассмотрение перспективных технологий очистки ОГ

При проектировании систем OBD нужно уже сегодня учитывать перспективные техни-

ческие разработки. С ужесточением норм токсичности ОГ во всем мире появляется все больше сложных систем очистки, таких как разного рода сажевые фильтры для дизельных двигателей и специальные катализаторы оксидов азота для дизельных двигателей и бензиновых двигателей с непосредственным впрыском. Для управления функциями новых систем и их контроля будут использоваться новые датчики — датчики аммиака, оксидов азота, сажи. Эти датчики должны уже заранее включаться в программирование диагностических функций и процедур проверки OBD. Одновременно должны быть определены соразмерно надежные пороговые значения, при которых загорается индикатор MIL и регистрируется неисправность. Следует исключить отрицательные взаимодействия с уже имеющимися системами на протяжении большого пробега.

Расширения функций контроля обусловлены также более масштабным вовлечением ЭБУ АКПП и учетом эффекта от работы кондиционера.

12.4. Адаптация к новым двигателям

В ближайшие годы все большее значение будут приобретать новые технологии при производстве двигателей — например, струйная технология непосредственного впрыска. При адаптации систем OBD к этим двигателям выводы о контроле систем можно сделать лишь с ограничениями. Другие диапазоны нагрузок и оборотов и существенно более высокое давление топлива и впрыска требуют новых методов проверки правдоподобности и определения предельных значений. Так, двигатели со струйной технологией непосредственного впрыска

будут работать с давлением впрыска около 200 бар. Это предъявляет новые требования к контролю топливной системы и к контролю утечек. Малейшая негерметичность в системе высокого давления может таить в себе значительную опасность для людей, окружающей среды и работы двигателя.

У будущих поколений систем впрыска дизельных двигателей очень высокое давление и необходимая точность в плане допусков деталей. К ним будут предъявляться высокие требования к надежности контроля систем. В сочетании с использованием новых технологий для фильтров и катализаторов необходимо разработать новые процедуры проверки и алгоритмы контроля, чтобы надежно увязать эти сложные системы в об-

щую концепцию проверки. Так, например, у катализаторов SCR с восстановителем должен очень точно контролироваться проход аммиака.

Чтобы при разработке систем и контроля для типовых испытаний систем надежно выполнить все требования законодательства в отношении распознавания неисправностей и проверки правдоподобности, разрабатываются новые прикладные модели, снижающие очень большие затраты труда и времени на проектирование и адаптацию систем и позволяющие быстро получить надежные результаты. Не исключено, что эти приложения будут использоваться и в перспективных системах диагностики на СТО для точного анализа отдельных систем.

13. ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ БОРТОВОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Перед анализом неисправностей и последующим их устранением необходимо проверить и проконтролировать ряд условий в двигателе. Если проигнорировать проверку, может случиться так, что будут заменены дорогие детали или узлы, а сама неисправность не будет устранена. Экспериментирование и систематическая замена узлов во многих случаях не приводят к успеху. Зачастую регистратор событий задает лишь общее направление в поиске неисправности. Однако при считывании измеренных значений и окружающих параметров мы получаем важные инструкции по протеканию диагностики. При замене блоков нельзя забывать, что новые блоки часто требуют «запоминания» системой либо требуется вернуть исходные настройки системы. Новые детали нужно сначала зарегистрировать, «прописать» в системе. Диагностические системы автопроизводителей и прочие системы имеют соответствующие меню. Перед устранением неисправностей необходимо проверить соблюдение следующих условий.

Общее состояние двигателя

- Соблюдены ли все предписываемые интервалы технического обслуживания и замен?

- Двигатель прогрет до рабочей температуры?
- Уровень охлаждающей жидкости в норме?
- Общая герметичность двигателя в норме?
- Правильно ли отрегулированы зазоры клапанов?
- Достаточная ли компрессия в цилиндрах?
- Достаточно ли заряжена аккумуляторная батарея (не менее 11,5 В)?
- Достаточно ли будет напряжение аккумуляторной батареи при нагрузке?
- Не проводился ли чип-тюнинг двигателя?
- Не установлено ли неразрешенное дополнительное оборудование?
- Кто-нибудь уже пробовал устранить неисправность манипуляциями с двигателем?

Состояние системы зажигания

- Проверка состояния свечей зажигания, наличия отложений.
- Проверка предписанного зазора между электродами свечей.
- Установлены нужные свечи зажигания?
- Не имеют ли свечи зажигания (особенно изолятор) повреждений?
- По возможности имеет смысл проверить картину первичного и вторичного напряжения зажигания с помощью осциллографа.

- Все ли соединения и разъемы в порядке и имеют надежный контакт?
- В порядке ли соединение двигателя, кузова и ЭБУ с массой?

Состояние системы смазки

- В порядке ли масляный фильтр?
- В норме ли уровень моторного масла, не наблюдается ли разжижение масла?
- На месте и в правильном ли положении находится маслоизмерительный щуп?
- В порядке ли вентиляция картера двигателя?
- Залито ли нужное масло (например, предписанное масло Low-Ash или Low-SAPS)?

Состояние топливной системы

- На месте ли пробка топливного бака?
- Та ли это пробка?
- Обеспечивается ли достаточная подача топлива?
- Каково состояние топливного фильтра?
- Установлен топливный фильтр, предписанный изготовителем?
- Залито нужное топливо (например, биодизель, если это не разрешено изготовителем)?
- Залиты ли предписанные присадки для сажевого фильтра или SCR-катализатора?

Проверка герметичности системы подачи воздуха и выпуска ОГ

- В порядке ли воздушный фильтр?
- Тот ли воздушный фильтр установлен?
- Правильно ли установлен воздушный фильтр?
- Герметична ли линия всасывания?
- Не засасывает ли двигатель воздух через неплотности?
- Герметична ли система выпуска ОГ?

Состояние прочих электронных систем

- В порядке ли прочие электронные системы, связанные с системой управления

двигателем (например, кондиционер, ЭБУ КПП, ESP и пр.)?

Для эффективной и грамотной проверки всех деталей помимо электрических схем и документации изготовителя необходимы диагностические системы как минимум с функцией осциллографа. Осциллограф должен иметь функцию реального времени. Регулярные обновления диагностического ПО должны быть делом самим собой разумеющимся.

Общие меры предосторожности при работе с электроникой

При измерениях на ЭБУ необходимо соблюдать крайнюю осторожность. По возможности следует выключить зажигание. Небольшие ошибки в работе могут привести к значительным финансовым последствиям из-за выхода ЭБУ из строя. Нарушение полярности или скачки напряжения могут повредить чувствительные электронные детали в ЭБУ. По этой причине не следует использовать традиционную контрольную лампу. Мультиметр, осциллограф или светодиодная «контролька» обеспечивают большую безопасность.

Удаление кодов из регистратора событий должно выполняться только в соответствии с инструкциями изготовителя. У некоторых систем при отключении аккумуляторной батареи теряются записанные данные. В этом случае необходимо заново настраивать или кодировать некоторые детали или системы. Если забыть об этом, то детали или системы не будут распознаны блоком управления и будут работать лишь в ограниченном режиме или вообще не будут работать. Это требуется и при замене ЭБУ или определенных деталей. Необходимая адаптация к системе или кодирование возможны только со специальным диагностическим тестером (часто собственного производства).

При замене ЭБУ нужно помнить, что у некоторых систем заменяемые ПЗУ требуется переводить в новое устройство. В этом случае ЭБУ, настраиваемые и кодируемые непосредственно в автомобиле, можно будет использовать только в этом автомобиле. Привычная прежде установка или замена «в экспериментальных целях» более невозможна. При наличии сомнений

по поводу ЭБУ следует соблюдать крайнюю осторожность. Иногда есть возможность отдать ЭБУ на проверку. Некоторые ЭБУ при определенных обстоятельствах можно ремонтировать. Если неисправность неустранимая, существует возможность заменить устройство. При отсутствии неисправностей ЭБУ можно без проблем установить на место.

14. ПРОВЕРКА ТОКСИЧНОСТИ ОГ В СИСТЕМАХ OBD

Правила проверки токсичности ОГ основываются на различных региональных и международных законодательных актах.

В следующем разделе описаны особые условия и требования к проведению проверки токсичности ОГ у автомобилей с OBD и D-OBD. Общее описание требований к проведению проверки токсичности ОГ здесь не приводится. Читатель должен в соответствующих материалах (например, справочнике по дорожному движению) узнавать об изменениях в отношении проведения проверки токсичности ОГ.

14.1. Осмотр деталей, имеющих отношение к вредным веществам

Чтобы во всех точках проверки токсичности ОГ осуществлялось единое определение неисправностей системы выпуска, выявленные неисправности должны документироваться единообразно. Если неисправности устраняются сразу после проверки токсичности ОГ, это должно быть подтверждено ответственным лицом. Эксперт должен зафиксировать эти неисправности в отчете об основном техническом осмотре. В таблице 14.1 показан объем проводимых осмотров у автомобилей

с OBD. Владелец автомобиля может устранить неисправности до основного техосмотра либо эксперт включает задокументированную неисправность в отчет по основному техосмотру.

14.2. ПО для проверки токсичности ОГ через OBD

Для проведения проверок токсичности ОГ у автомобилей с OBD необходимо использовать определенные версии ПО для приборов, измеряющих токсичность ОГ. Эти версии ПО можно использовать для проверки автомобилей, работающих на газе, лишь в случае изменения коэффициента для расчета значения лямбда. Для дизельных автомобилей с OBD требуется версия 3. В таблице 14.2 показаны допуски отдельных версий ПО.

14.3. Проверка токсичности ОГ в автомобилях с бензиновым двигателем и системой OBD

У новых систем OBD все чаще можно извлекать заданные значения проверки токсичности ОГ прямо из регулирующей электроники.

Это позволяет не вводить, как прежде, момент зажигания, холостые обороты, концентрацию СО на холостом ходу и не выполнять проверку контура регулировки. При проверке токсичности ОГ у автомобилей с OBD с бензиновым двигателем порядок действий следующий.

Подготовка к проверке токсичности ОГ:

- проверка соответствия автомобиля и ПТС;
- при необходимости определение, предоставление или считывание данных проверки токсичности ОГ;
- определение пробега;
- подготовка измерительного прибора к работе, проверка токсичности ОГ.

В этом перечне нет проверки и настройки оборотов холостого хода и момента зажигания. Включение возмущающего воздействия для проверки регулирующего контура больше не выполняется. В этом случае система OBD сразу бы распознала и зарегистрировала неисправности, имеющие отношение к системе выпуска.

Проверка функционирования у автомобилей с OBD

- Подключите тестер и включите зажигание.
- Подождите, пока не установится связь между тестером и ЭБУ.
- Контроль и функция индикатора MIL.
- Проверка работы OBD.
- Считывание системных данных, имеющих отношение к ОГ (соответствует проверке контура регулировки) [режим проверки 01]:
 - холостые обороты [мин⁻¹];
 - температура двигателя [°C];
 - считывание фактических значений, позволяющих сделать вывод о работоспособности системы;

- измерительный прибор определяет коды готовности, поддерживаемые системой OBD.

- Документирование кода готовности:
 - все поддерживаемые коды должны быть «0»;
 - при «1» в качестве эквивалентного значения считывается сигнал лямбда-зонда.
 - При прогретых двигателе и катализаторе нужно считать коды из регистратора событий [режим проверки 03].
 - При необходимости определение данных Freeze Frame (окружающих условий) [режим проверки 02].
 - Температура двигателя должна составлять не менее 60 °C.
 - Выбор лямбда-зонда и регистрация фактических значений регулирующего лямбда-зонда:
 - *зонд с релейной характеристикой «S».* Минимально допустимый диапазон изменения напряжения [В] при контрольной частоте вращения 0,3 В;
 - *широкополосный зонд «В».* Лямбда 0,97–1,03 при контрольной частоте вращения или силе тока [мА] или напряжении [В] по данным изготовителя при контрольной частоте вращения.
- При отсутствии данных изготовителя применяется вычисленное значение.
- Измерение значения лямбда на повышенных холостых оборотах 2500–3000 мин⁻¹ в течение не менее 30 с (даже если не зарегистрировано никаких неисправностей, значение СО может быть превышено).
 - Измерение СО на повышенных холостых оборотах не более 0,2 об. %.
 - Удаление кода неисправности системы выпуска после ремонта [режим проверки 04].

- Оценка проверки токсичности ОГ и выдача либо отказа в выдаче одобрения.
- Предоставление отчета о проверке и его архивирование.

Неисправности в системе выпуска автоматически означают непрохождение проверки токсичности ОГ. Не у всех автомобилей с OBD, особенно до 2003-го модельного года, проверка токсичности ОГ протекает без проблем.

Если между ЭБУ двигателя и контрольным прибором для проверки токсичности ОГ дважды не будет установлена связь, то проверку токсичности ОГ нужно прервать и задокументировать, как непройденную. В некоторых случаях допускается проверка в режиме для автомобилей с регулируемым катализатором с помощью разрешенного эквивалентного метода.

14.4. Проверка токсичности ОГ в автомобилях с дизельными двигателями и системой D-OBD

Метод проверки для дизельных автомобилей с D-OBD применяется с 01.10.2005. Применявшийся ранее эквивалентный метод (осмотр деталей, измерение дымности и осмотр индикатора MIL) больше не допускается. Процесс проверки у автомобилей с D-OBD представляет собой сочетание известных процессов проверки для автомобилей с бензиновыми двигателями и системой OBD и использовавшегося прежде определения дымности у автомобилей с дизельными двигателями. Для проверки токсичности ОГ у автомобилей с дизельными двигателями с OBD обязательно требуется новая версия ПО — версия 3. При проверке токсичности ОГ у автомобилей с D-OBD порядок действий следующий.

Подготовка к проверке токсичности ОГ

- Проверка соответствия автомобиля и ПТС.
- При необходимости определение, предоставление или считывание данных проверки токсичности ОГ.
- Определение пробега.
- Подготовка измерительного прибора к работе, проверка токсичности ОГ.

Проверка функционирования у автомобилей с D-OBD

- Подключите тестер и включите зажигание.
- Подождите, пока не установится связь между тестером и ЭБУ.
- Контроль и функция индикатора MIL.
- Проверка работы D-OBD.
- Считывание системных данных, имеющих отношение к ОГ (соответствует проверке контура регулировки) [режим проверки 01]:
 - холостые обороты и обороты по регулятору [мин⁻¹];
 - температура двигателя [°C];
 - считывание фактических значений, позволяющих сделать вывод о работоспособности системы;
 - измерительный прибор определяет коды готовности, поддерживаемые системой D-OBD.
- Документирование кода готовности (все поддерживаемые коды должны быть «0»).
- При прогревом двигателя нужно считать коды из регистратора событий [режим проверки 03].
- Определение данных Freeze Frame (окружающих условий) [режим проверки 02].
- Температура двигателя должна составлять не менее 60 °C.
- Холостые обороты и обороты по регулятору по инструкциям изготовителя, мин./макс.; измерение в [мин⁻¹]:
 - для оборотов по регулятору необходимо ввести время паузы 1–5 с;

- выбор режима измерения А или В (использование по предписанию изготовителя, в противном случае режим В);
 - выбор зонда 1 или зонда 2 (концевая выхлопная труба 60–80 мм, по предписанию изготовителя).
- Выполнение свободного разгона:
- время измерения при оборотах по регулятору по предписанию изготовителя, мин. 0,5 с; макс. 2,0 с;
 - работа двигателя на холостых оборотах не менее 15 с;
 - быстрое и равномерное нажатие педали «газа» до упора с соблюдением времени разгона и паузы ($t_b < 1,8$ с, макс. ширина диапазона 0,2 с);
 - определение оборотов по регулятору и макс. дымности газов;
 - максимальная дымность газов у автомобилей, допущенных к эксплуатации до 01.10.2006, составляет $2,5 \text{ м}^{-1}$, в пересчете на режим измерения В, а у допущенных к эксплуатации после 01.10.2006 — не более $1,5 \text{ м}^{-1}$, режим измерения В.
- Выполнение свободного разгона еще не менее 3 раз.
- Разброс максимальной дымности не должен превышать следующих значений:
- коэффициенты дымности $\leq 2,5 \text{ м}^{-1}$ в пределах $0,5 \text{ м}^{-1}$;
 - коэффициенты дымности $\leq 2,5 \text{ м}^{-1}$ в пределах $0,7 \text{ м}^{-1}$;
 - если разброс превышает $0,5 \text{ м}^{-1}/0,7 \text{ м}^{-1}$, то требуется новое измерение.
- Удаление кода неисправности системы выпуска после ремонта [режим проверки 04].

- Оценка проверки токсичности ОГ и выдача либо отказ в выдаче одобрения.
- Предоставление отчета о проверке и его архивирование.

Неисправности в системе выпуска автоматически означают непрохождение проверки токсичности ОГ.

Указания по свободному разгону

При проведении свободного разгона на недостаточно подготовленном автомобиле могут отделиться отложившиеся частицы и привести к повышению измеренной дымности ОГ. В результате этого эффекта автомобиль без технических неисправностей могут не пройти проверку токсичности ОГ. Поэтому имеет смысл проехать на автомобиле перед проверкой токсичности ОГ чуть дольше с большой нагрузкой или с постоянной скоростью.

При свободном разгоне, помимо подготовки автомобиля (выполнения всех необходимых условий), решающее влияние на измеряемую дымность выхлопа оказывает время разгона. При свободном разгоне двигатель, преодолевая инерцию, разгоняется с холостых оборотов до оборотов, ограничиваемых электронным регулятором. Решающим фактором информативности является быстрое и плавное ускорение, чтобы расход топлива при впрыске был максимальным за кратчайшее время. При медленном разгоне не удается достичь максимального расхода, развиваемая мощность слишком мала, и измеряется более низкая дымность ОГ. Это может привести к тому, что неисправный автомобиль при медленном разгоне будет квалифицирован как исправный.

Таблица 14.1. Объем осмотра у автомобилей с OBD

Проверяемые системы и детали	Осмотр по предписанию изготовителя	
	Бензиновый / OBD	Дизельный / OBD
Выпускная система	Проверка	Проверка
Безопасные пробки заливных горловин топливных баков и прочие установленные предохранительные устройства	Проверка	Проверка
Контроль индикатора неисправностей MIL Индикатор неисправностей MIL должен загораться при включении зажигания Индикатор неисправностей MIL должен гаснуть при запуске двигателя	Проверка	Проверка
Вентиляция картера двигателя	Проверка	Проверка
Фильтр всасываемого воздуха	Проверка	Проверка
Система рециркуляции ОГ	Проверка	Проверка
Система впуска добавочного воздуха	Проверка	Нет
Катализатор / сажевый фильтр	Проверка	Проверка
Датчики	Проверка	Проверка
Провода исполнительных элементов	Проверка	Проверка
Лямбда-зонды	Проверка	Проверка
Фильтр с активированным углем	Проверка	Нет
Упор полной нагрузки у дизельного двигателя с распределительным насосом	Нет	Проверка

Таблица 14.2. Действие различных версий ПО

Метод проверки для	версии 1	версии 2	версии 3
Срок действия версии ПО	До 31.12.2009 только при указании типа устройства, версии ПО и срока очередной проверки токсичности ОГ	до 31.12.2009	Обязательно с 01.01.2010
Бензиновый двигатель без катализатора	Допускается	Допускается	Допускается
Бензиновый двигатель с U-катализатором	Допускается	Допускается	Допускается
Бензиновый двигатель с G-катализатором	Допускается *	Допускается *	Допускается
Бензиновый двигатель с G-катализатором и OBD	Не допускается	Допускается *	Допускается
Дизельный двигатель	Допускается	Допускается	Допускается
Дизельный двигатель с OBD	Не допускается	Не допускается	Допускается

* С 01.01.2005 применяются другие коэффициенты для расчета значения лямбда для HCV и OCV. Если коэффициенты не были адаптированы, значит устройства не допускаются к проверке газовых автомобилей.)

15. OBD 3, OBM И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

В ближайшие годы основными источниками привода автомобилей останутся двигатели внутреннего сгорания. Альтернативы — гибридные приводы, топливные элементы и водородные двигатели найдут применение лишь в определенных областях; к тому же для них еще требуются значительные инвестиции. В центре всех разработок для ДВС находится снижение выбросов вредных веществ и расхода топлива. Обсуждаемые уже сегодня новые предельные концентрации вредных веществ в выхлопе, которые должны вступить в силу в 2014 году, требуют совершенно новых методов контроля и систем для снижения выбросов. В перспективе будут использоваться новые системы датчиков. Наряду с уже стандартизированными вредными компонентами будут регламентироваться предельные концентрации других токсичных выбросов. Требования к сроку службы систем будут и впредь ужесточаться. Помимо уже известных мер, реализуемых в самом двигателе, все большее значение будут приобретать внешние системы очистки ОГ. Величины, определяемые механикой двигателя, такие как фазы газораспределения и коэффициент избытка воздуха, в перспективе будут более регулируемы. Новые однородные и полуднородные методы сжигания сотрут существующую пока разли-

цу между бензиновыми и дизельными двигателями. Турбонаддув станет в бензиновых двигателях таким же неотъемлемым компонентом, каким он сейчас является в дизелях. Сочетания различных технологий наддува станут нормой. Свой вклад в уменьшение выбросов внесут и новые виды топлива — SynFuel и SunFuel. Конфликты целей между политической волей в плане определения предельных концентраций и технически реализуемым и экономически целесообразным внедрением систем должны быть разрешены. Подумывают о системах OBM (On-Board Measurement, бортовое измерение) для непосредственного измерения концентрации вредных выбросов автомобиля. Эти системы могут быть внедрены также под обозначением OBD 3.

Поскольку мотоциклы имеют почти такие же ДВС и блоки управления двигателями, как и легковые автомобили, не исключено, что в будущем системами OBD будут оснащаться и мотоциклы. Уже используются электронные системы с регистраторами событий и контрольными лампами. Первые шаги в этом направлении делаются с внедрением проверки токсичности ОГ у мотоциклов.

Наряду с ужесточением требований к выбросам автомобильных двигателей в перспективе будут регламентироваться

выбросы ОГ и для стационарных ДВС, двигателей строительной техники и оборудования, а также железнодорожных дизельных двигателей. Хорошим ориентиром для них станут нормы токсичности автомобильных двигателей. Как бы то ни было, для этих двигателей нужно учитывать их значительно больший по сравнению с автомобильными предельный срок службы.

Пределы современных систем OBD

OBD — это хорошая концепция для непрерывного контроля функциональности деталей и узлов системы выпуска и быстрого восстановления функции с помощью сохраненных данных при индикации неисправностей. Диагностика неисправностей и ремонт сложных систем упрощается. При контроле через OBD суть диагностики неисправностей сводится к определению зависимостей между наблюдаемыми неисправностями (например, достижение неожиданных состояний, отсутствие ожидаемых событий). Причины неисправностей анализируются лишь частично в рамках окружающих данных (данные Freeze Frame). В рамках OBD значительная часть управляющего ПО отвечает за контроль состояния проводов (обрывы, КЗ) датчиков и исполнительных механизмов и грубую проверку правдоподобности сигналов датчиков. Эти простые методы не позволяют ни своевременно распознавать неисправности в области двигателя, ни делать выводы о причинах неисправностей. Прогнозирование последующих неисправностей на основании наблюдаемых также не делается.

У систем OBD принимаются такие пороги распознавания неисправностей, которые допускают вредные выбросы в пределах нормы Евро-2 при превышении пороговых значений. Игнорируя предупреждения OBD, водитель по сути совершает экологическое преступление — ведь его автомобиль движется

с повышенным уровнем выбросов. Хотя автоматическая остановка автомобиля в случае неустранения неисправности по истечении определенного времени или пробега и возможна технически, но юридически реализовать эту возможность пока нельзя. У систем OBD 3 можно будет с помощью транспортной телематики передавать информацию органам, разрешающим эксплуатацию ТС, или в налоговые инспекции для наложения запрета на эксплуатацию или штрафов.

Особенно проблематичным у систем OBD является состояние, когда отдельные пороговые значения не превышаются, но работа различных систем на соответствующих предельных значениях приводит к превышению общего порога выбросов. Это состояние не распознается, не контролируется и не анализируется современными системами OBD. Может случиться так, что в одной системе OBD не будет записано никаких неисправностей, но допустимые пределы выбросов ОГ все равно будут значительно превышены. Еще одним существенным недостатком этих систем является то, что отдельные стандартизированные компоненты вредных выбросов не измеряются в системе выпуска и не анализируются электроникой напрямую. Все данные определяются только косвенным путем.

Бортовое измерение (OBM)

Более перспективной, чем OBD представляется система бортового измерения (**On-Board-Measurement, OBM**), обеспечивающая непосредственный контроль выбросов ОГ с помощью различных датчиков в системе выпуска. В системе OBM измеряются концентрации газообразных оксида углерода, углеводородов, оксидов азота и частиц и сравниваются с сохраненными номинальными значениями. Как и в OBD, при отклонении от номиналов регистрируется код неисправ-

ности и загорается сигнальная лампа, указывающая на необходимость ремонта. В отличие от OBD, в системе OBM благодаря прямому измерению концентраций вредных компонентов распознаются также аномалии из-за непредвиденных неисправностей или неблагоприятных сочетаний неисправностей. Это позволяет контролировать также новые системы очистки ОГ, такие как SCR-катализатор, накопительный катализатор и сажевый фильтр, у которых OBD достигает предельных значений. OBM — система более комплексная и эффективная, чем OBD. В любом случае технические затраты и гарантия эксплуатационной безопасности здесь значительно выше, чем у OBD.

В настоящее время путем масштабных исследований определяются граничные условия использования OBM и обсуждаются в комиссиях ЕС. Планируется включение OBM как альтернативы OBD в будущие законодатель-

ные акты, регламентирующие выбросы. В различных исследовательских проектах в настоящее время исследуются датчики для прямого измерения ОГ в автомобиле в плане постоянства измеряемых данных во времени, надежности и стойкости при длительной нагрузке и быстрых изменениях картины выхлопа автомобиля в рамках испытательных циклов. В принципе новые датчики предназначены для распознавания изменений выбросов ОГ через появление сбоя в системе уменьшения выбросов ОГ. Новые перспективы обещает, к примеру, измерение ионного тока для контроля сгорания и оптимизации расхода и момента впрыска. Контроль осуществляется прямо в камере сгорания. С помощью измерения ионного тока можно генерировать сигналы датчика, отправляющие информацию о ходе сгорания, КПД и вредных выбросах прямо на блок управления OBM. Сроки внедрения OBM пока не известны.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Перечень кодов неисправностей OBD по SAE J2012 и ISO 15 031-6

P00XX топливная система, дозировка воздуха и дополнительная регулировка состава ОГ		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0010	Регулировка фаз газораспределения А (ряд 1)	нарушение работы
P0011	Регулировка фаз газораспределения А (ряд 1)	слишком рано
P0012	Регулировка фаз газораспределения А (ряд 1)	слишком поздно
P0013	Регулировка фаз газораспределения В (ряд 1)	нарушение работы
P0014	Регулировка фаз газораспределения В (ряд 1)	слишком рано
P0015	Регулировка фаз газораспределения В (ряд 1)	слишком поздно
P0020	Регулировка фаз газораспределения А (ряд 2)	нарушение работы
P0021	Регулировка фаз газораспределения А (ряд 2)	слишком рано
P0022	Регулировка фаз газораспределения А (ряд 2)	слишком поздно
P0023	Регулировка фаз газораспределения В (ряд 2)	нарушение работы
P0024	Регулировка фаз газораспределения В (ряд 2)	слишком рано
P0025	Регулировка фаз газораспределения В (ряд 2)	слишком поздно
P0030	Обогрев лямбда-зонда (ряд 1, датчик 1)	нарушение работы
P0031	Обогрев лямбда-зонда (ряд 1, датчик 1)	замыкание на массу
P0032	Обогрев лямбда-зонда (ряд 1, датчик 1)	замыкание на плюс
P0033	Байпасный клапан турбоагнетателя	нарушение работы
P0034	Байпасный клапан турбоагнетателя	замыкание на массу
P0035	Байпасный клапан турбоагнетателя	замыкание на плюс
P0036	Обогрев лямбда-зонда (ряд 1, датчик 2)	нарушение работы
P0037	Обогрев лямбда-зонда (ряд 1, датчик 2)	замыкание на массу
P0038	Обогрев лямбда-зонда (ряд 1, датчик 2)	замыкание на плюс
P0042	Обогрев лямбда-зонда (ряд 1, датчик 3)	нарушение работы

P00XX топливная система, дозировка воздуха и дополнительная регулировка состава ОГ		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0043	Обогрев лямбда-зонда (ряд 1, датчик 3)	замыкание на массу
P0044	Обогрев лямбда-зонда (ряд 1, датчик 3)	замыкание на плюс
P0050	Обогрев лямбда-зонда (ряд 2, датчик 1)	нарушение работы
P0051	Обогрев лямбда-зонда (ряд 2, датчик 1)	замыкание на массу
P0052	Обогрев лямбда-зонда (ряд 2, датчик 1)	замыкание на плюс
P0056	Обогрев лямбда-зонда (ряд 2, датчик 2)	нарушение работы
P0057	Обогрев лямбда-зонда (ряд 2, датчик 2)	замыкание на массу
P0058	Обогрев лямбда-зонда (ряд 2, датчик 2)	замыкание на плюс
P0062	Обогрев лямбда-зонда (ряд 2, датчик 3)	нарушение работы
P0063	Обогрев лямбда-зонда (ряд 2, датчик 3)	замыкание на массу
P0064	Обогрев лямбда-зонда (ряд 2, датчик 3)	замыкание на плюс
P0065	Форсунка с кольцевым воздушным питателем	вне номинального диапазона
P0066	Форсунка с кольцевым воздушным питателем	замыкание на массу
P0067	Форсунка с кольцевым воздушным питателем	замыкание на плюс
P0070	Датчик температуры окружающего воздуха	нарушение работы
P0071	Датчик температуры окружающего воздуха	вне номинального диапазона
P0072	Датчик температуры окружающего воздуха	слишком слабый сигнал
P0073	Датчик температуры окружающего воздуха	слишком сильный сигнал
P0074	Датчик температуры окружающего воздуха	спорадическая неисправность
P0075	Электромагнитный клапан системы управления впускными клапанами (ряд 1)	нарушение работы
P0076	Электромагнитный клапан системы управления впускными клапанами (ряд 1)	замыкание на массу
P0077	Электромагнитный клапан системы управления впускными клапанами (ряд 1)	замыкание на плюс
P0078	Электромагнитный клапан системы управления выпускными клапанами (ряд 1)	нарушение работы
P0079	Электромагнитный клапан системы управления выпускными клапанами (ряд 1)	замыкание на массу
P0080	Электромагнитный клапан системы управления выпускными клапанами (ряд 1)	замыкание на плюс
P0081	Электромагнитный клапан системы управления впускными клапанами (ряд 2)	нарушение работы
P0082	Электромагнитный клапан системы управления впускными клапанами (ряд 2)	замыкание на массу

P00XX топливная система, дозировка воздуха и дополнительная регулировка состава ОГ		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0083	Электромагнитный клапан системы управления впускными клапанами (ряд 2)	замыкание на плюс
P0084	Электромагнитный клапан системы управления выпускными клапанами (ряд 2)	нарушение работы
P0085	Электромагнитный клапан системы управления выпускными клапанами (ряд 2)	замыкание на массу
P0086	Электромагнитный клапан системы управления выпускными клапанами (ряд 2)	замыкание на плюс

P01XX Топливная система и дозирование воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0100	Измеритель массы или объема воздуха	нарушение работы
P0101	Измеритель массы или объема воздуха	вне номинального диапазона
P0102	Измеритель массы или объема воздуха	слишком слабый сигнал
P0103	Измеритель массы или объема воздуха	слишком сильный сигнал
P0104	Измеритель массы или объема воздуха	спорадическая неисправность
P0105	Датчик высоты / Датчик давления во всасывающей трубе	нарушение работы
P0106	Датчик высоты / Датчик давления во всасывающей трубе	вне номинального диапазона
P0107	Датчик высоты / Датчик давления во всасывающей трубе	слишком слабый сигнал
P0108	Датчик высоты / Датчик давления во всасывающей трубе	слишком сильный сигнал
P0109	Датчик высоты / Датчик давления во всасывающей трубе	спорадическая неисправность
P0110	Датчик температуры всасываемого воздуха	нарушение работы
P0111	Датчик температуры всасываемого воздуха	вне номинального диапазона
P0112	Датчик температуры всасываемого воздуха	слишком слабый сигнал
P0113	Датчик температуры всасываемого воздуха	слишком сильный сигнал
P0114	Датчик температуры всасываемого воздуха	спорадическая неисправность
P0115	Датчик температуры охлаждающей жидкости	нарушение работы
P0116	Датчик температуры охлаждающей жидкости	вне номинального диапазона
P0117	Датчик температуры охлаждающей жидкости	слишком слабый сигнал

P01XX Топливная система и дозирование воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0118	Датчик температуры охлаждающей жидкости	слишком сильный сигнал
P0119	Датчик температуры охлаждающей жидкости	спорадическая неисправность
P0120	Датчик положения дроссельной заслонки / педали А	нарушение работы
P0121	Датчик положения дроссельной заслонки / педали А	вне номинального диапазона
P0122	Датчик положения дроссельной заслонки / педали А	слишком слабый сигнал
P0123	Датчик положения дроссельной заслонки / педали А	слишком сильный сигнал
P0124	Датчик положения дроссельной заслонки / педали А	спорадическая неисправность
P0125	Температура охлаждающей жидкости для активизации регулирующего контура	недостаточная
P0126	Температура охлаждающей жидкости для стабильного функционирования	недостаточная
P0127	Температура всасываемого воздуха	слишком большая
P0128	Температура охлаждающей жидкости в термостате	ниже границы регулировки
P0130	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 1)	нарушение работы
P0131	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 1)	низкое напряжение
P0132	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 1)	высокое напряжение
P0133	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 1)	инертность
P0134	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 1)	неактивен
P0135	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 1)	нарушение работы
P0136	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 2)	нарушение работы
P0137	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 2)	низкое напряжение
P0138	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 2)	высокое напряжение
P0139	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 2)	инертность
P0140	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 2)	неактивен
P0141	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 2)	нарушение работы
P0142	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 3)	нарушение работы
P0143	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 3)	низкое напряжение
P0144	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 3)	высокое напряжение
P0145	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 3)	инертность
P0146	Лямбда-зонд (ряд 1, датчик 3)	неактивен
P0147	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 3)	нарушение работы
P0148	Подача топлива	нарушение работы / неисправность

P01XX Топливная система и дозирование воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0149	Начало впрыскивания	нарушение работы / неисправность
P0150	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 1)	нарушение работы
P0151	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 1)	низкое напряжение
P0152	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 1)	высокое напряжение
P0153	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 1)	инертность
P0154	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 1)	неактивен
P0155	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 2, датчик 1)	нарушение работы
P0156	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 2)	нарушение работы
P0157	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 2)	низкое напряжение
P0158	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 2)	высокое напряжение
P0159	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 2)	инертность
P0160	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 2)	неактивен
P0161	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 2, датчик 2)	нарушение работы
P0162	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 3)	нарушение работы
P0163	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 3)	низкое напряжение
P0164	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 3)	высокое напряжение
P0165	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 3)	инертность
P0166	Лямбда-зонд (ряд 2, датчик 3)	неактивен
P0167	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 2, датчик 3)	нарушение работы
P0168	Температура топлива	слишком высокая
P0169	Состав топлива	неверный / неправильное соотношение
P0170	Корректировка топлива (ряд 1)	нарушение работы
P0171	Смесь (ряд 1)	слишком бедная
P0172	Смесь (ряд 1)	слишком богатая
P0173	Корректировка топлива (ряд 2)	нарушение работы
P0174	Смесь (ряд 2)	слишком бедная
P0176	Смесь (ряд 2)	слишком богатая
P0176	Датчик состава топлива	нарушение работы
P0177	Датчик состава топлива	вне номинального диапазона
P0178	Датчик состава топлива	слишком слабый сигнал
P0179	Датчик состава топлива	слишком сильный сигнал
P0180	Датчик температуры топлива А	нарушение работы

P01XX Топливная система и дозирование воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0181	Датчик температуры топлива А	вне номинального диапазона
P0182	Датчик температуры топлива А	слишком слабый сигнал
P0183	Датчик температуры топлива А	слишком сильный сигнал
P0184	Датчик температуры топлива А	спорадическая неисправность
P0185	Датчик температуры топлива В	нарушение работы
P0186	Датчик температуры топлива В	вне номинального диапазона
P0187	Датчик температуры топлива В	слишком слабый сигнал
P0188	Датчик температуры топлива В	слишком сильный сигнал
P0189	Датчик температуры топлива В	спорадическая неисправность
P0190	Распределитель топлива, датчик давления	нарушение работы
P0191	Распределитель топлива, датчик давления	вне номинального диапазона
P0192	Распределитель топлива, датчик давления	слишком слабый сигнал
P0193	Распределитель топлива, датчик давления	слишком сильный сигнал
P0194	Распределитель топлива, датчик давления	спорадическая неисправность
P0196	Датчик температуры моторного масла	нарушение работы
P0196	Датчик температуры моторного масла	вне номинального диапазона
P0197	Датчик температуры моторного масла	слишком слабый сигнал
P0198	Датчик температуры моторного масла	слишком сильный сигнал
P0199	Датчик температуры моторного масла	спорадическая неисправность

P02XX Топливная система и дозирование воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0200	Форсунка	нарушение работы
P0201	Форсунка цилиндр 1	нарушение работы
P0202	Форсунка цилиндр 2	нарушение работы
P0203	Форсунка цилиндр 3	нарушение работы
P0204	Форсунка цилиндр 4	нарушение работы
P0206	Форсунка цилиндр 5	нарушение работы

P02XX Топливная система и дозирование воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0206	Форсунка цилиндр 6	нарушение работы
P0207	Форсунка цилиндр 7	нарушение работы
P0208	Форсунка цилиндр 8	нарушение работы
P0209	Форсунка цилиндр 9	нарушение работы
P0210	Форсунка цилиндр 10	нарушение работы
P0211	Форсунка цилиндр 11	нарушение работы
P0212	Форсунка цилиндр 12	нарушение работы
P0213	Клапан холодного запуска 1	нарушение работы
P0214	Клапан холодного запуска 2	нарушение работы
P0215	Электромагнитный клапан отсечки топлива (ELAB)	нарушение работы
P0216	Контроль длительности впрыска	нарушение работы
P0217	(допустимая) температура ОЖ	превышена
P0218	(допустимая) температура масла в КПП	превышена
P0219	Максимальные обороты двигателя	превышены
P0220	Датчик положения дроссельной заслонки / педали В	нарушение работы
P0221	Датчик положения дроссельной заслонки / педали В	вне номинального диапазона
P0222	Датчик положения дроссельной заслонки / педали В	слишком слабый сигнал
P0223	Датчик положения дроссельной заслонки / педали В	слишком сильный сигнал
P0224	Датчик положения дроссельной заслонки / педали В	спорадическая неисправность
P0225	Датчик положения дроссельной заслонки / педали С	нарушение работы
P0226	Датчик положения дроссельной заслонки / педали С	вне номинального диапазона
P0227	Датчик положения дроссельной заслонки / педали С	слишком слабый сигнал
P0228	Датчик положения дроссельной заслонки / педали С	слишком сильный сигнал
P0229	Датчик положения дроссельной заслонки / педали С	спорадическая неисправность
P0230	Электропитание топливного насоса	нарушение работы
P0231	Электропитание топливного насоса	слишком слабый сигнал
P0232	Электропитание топливного насоса	слишком сильный сигнал
P0233	Электропитание топливного насоса	спорадическая неисправность
P0234	Перегрузка двигателя	слишком большое давление наддува

P02XX Топливная система и дозирование воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0235	Турбонагнетатель, датчик давления наддува А	нарушение работы
P0236	Турбонагнетатель, датчик давления наддува А	вне номинального диапазона
P0237	Турбонагнетатель, датчик давления наддува А	слишком слабый сигнал
P0238	Турбонагнетатель, датчик давления наддува А	слишком сильный сигнал
P0239	Турбонагнетатель, датчик давления наддува В	нарушение работы
P0240	Турбонагнетатель, датчик давления наддува В	вне номинального диапазона
P0241	Турбонагнетатель, датчик давления наддува В	слишком слабый сигнал
P0242	Турбонагнетатель, датчик давления наддува В	слишком сильный сигнал
P0243	Турбонагнетатель, датчик ограничения давления наддува А	нарушение работы
P0244	Турбонагнетатель, датчик ограничения давления наддува А	вне номинального диапазона
P0245	Турбонагнетатель, датчик ограничения давления наддува А	слишком слабый сигнал
P0246	Турбонагнетатель, датчик ограничения давления наддува А	слишком сильный сигнал
P0247	Турбонагнетатель, датчик ограничения давления наддува В	нарушение работы
P0248	Турбонагнетатель, датчик ограничения давления наддува В	вне номинального диапазона
P0249	Турбонагнетатель, датчик ограничения давления наддува В	слишком слабый сигнал
P0250	Турбонагнетатель, датчик ограничения давления наддува В	слишком сильный сигнал
P0251	Регулировка начала впрыска, насос впрыска А	нарушение работы
P0252	Регулировка начала впрыска, насос впрыска А	вне номинального диапазона
P0253	Регулировка начала впрыска, насос впрыска А	слишком ранний
P0254	Регулировка начала впрыска, насос впрыска А	слишком поздний
P0255	Регулировка начала впрыска, насос впрыска А	нестабильный (спорадическая неисправность)
P0256	Регулировка начала впрыска, насос впрыска В	нарушение работы
P0257	Регулировка начала впрыска, насос впрыска В	вне номинального диапазона
P0258	Регулировка начала впрыска, насос впрыска В	слишком ранний
P0259	Регулировка начала впрыска, насос впрыска В	слишком поздний
P0260	Регулировка начала впрыска, насос впрыска В	нестабильный (спорадическая неисправность)

P02XX Топливная система и дозирование воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0261	Объем впрыска цилиндр 1	слишком маленький
P0262	Объем впрыска цилиндр 1	слишком большой
P0263	Объем впрыска цилиндр 1	неравномерный
P0264	Объем впрыска цилиндр 2	слишком маленький
P0266	Объем впрыска цилиндр 2	слишком большой
P0266	Объем впрыска цилиндр 2	неравномерный
P0267	Объем впрыска цилиндр 3	слишком маленький
P0268	Объем впрыска цилиндр 3	слишком большой
P0269	Объем впрыска цилиндр 3	неравномерный
P0270	Объем впрыска цилиндр 4	слишком маленький
P0271	Объем впрыска цилиндр 4	слишком большой
P0272	Объем впрыска цилиндр 4	неравномерный
P0273	Объем впрыска цилиндр 5	слишком маленький
P0274	Объем впрыска цилиндр 5	слишком большой
P0275	Объем впрыска цилиндр 5	неравномерный
P0276	Объем впрыска цилиндр 6	слишком маленький
P0277	Объем впрыска цилиндр 6	слишком большой
P0278	Объем впрыска цилиндр 6	неравномерный
P0279	Объем впрыска цилиндр 7	слишком маленький
P0280	Объем впрыска цилиндр 7	слишком большой
P0281	Объем впрыска цилиндр 7	неравномерный
P0282	Объем впрыска цилиндр 8	слишком маленький
P0283	Объем впрыска цилиндр 8	слишком большой
P0284	Объем впрыска цилиндр 8	неравномерный
P0285	Объем впрыска цилиндр 9	слишком маленький
P0286	Объем впрыска цилиндр 9	слишком большой
P0287	Объем впрыска цилиндр 9	неравномерный
P0288	Объем впрыска цилиндр 10	слишком маленький
P0289	Объем впрыска цилиндр 10	слишком большой
P0290	Объем впрыска цилиндр 10	неравномерный
P0291	Объем впрыска цилиндр 11	слишком маленький
P0292	Объем впрыска цилиндр 11	слишком большой
P0293	Объем впрыска цилиндр 11	неравномерный

P02XX Топливная система и дозирование воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0294	Объем впрыска цилиндр 12	слишком маленький
P0295	Объем впрыска цилиндр 12	слишком большой
P0296	Объем впрыска цилиндр 12	неравномерный
P0298	Допустимая температура моторного масла	превышена

P03XX Система зажигания или ошибочное зажигание		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0300	Разные цилиндры	распознан пропуск зажигания
P0301	Цилиндр 1	распознан пропуск зажигания
P0302	Цилиндр 2	распознан пропуск зажигания
P0303	Цилиндр 3	распознан пропуск зажигания
P0304	Цилиндр 4	распознан пропуск зажигания
P0305	Цилиндр 5	распознан пропуск зажигания
P0306	Цилиндр 6	распознан пропуск зажигания
P0307	Цилиндр 7	распознан пропуск зажигания
P0308	Цилиндр 8	распознан пропуск зажигания
P0309	Цилиндр 9	распознан пропуск зажигания
P0310	Цилиндр 10	распознан пропуск зажигания
P0311	Цилиндр 11	распознан пропуск зажигания
P0312	Цилиндр 12	распознан пропуск зажигания
P0313	При пустом топливном баке	распознан пропуск зажигания
P0314	Неизвестный цилиндр	распознан пропуск зажигания
P0320	Сигнал оборотов распределителя зажигания	нарушение работы
P0321	Сигнал оборотов распределителя зажигания	вне номинального диапазона
P0322	Сигнал оборотов распределителя зажигания	нет сигнала
P0323	Сигнал оборотов распределителя зажигания	спорадическая неисправность
P0324	Регулировка детонации	нарушение работы / неисправность
P0325	Датчик детонации 1 (ряд 1)	нарушение работы
P0326	Датчик детонации 1 (ряд 1)	вне номинального диапазона
P0327	Датчик детонации 1 (ряд 1)	слишком слабый сигнал
P0328	Датчик детонации 1 (ряд 1)	слишком сильный сигнал
P0329	Датчик детонации 1 (ряд 1)	спорадическая неисправность

P03XX Система зажигания или ошибочное зажигание		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0330	Датчик детонации 2 (ряд 2)	нарушение работы
P0331	Датчик детонации 2 (ряд 2)	вне номинального диапазона
P0332	Датчик детонации 2 (ряд 2)	слишком слабый сигнал
P0333	Датчик детонации 2 (ряд 2)	слишком сильный сигнал
P0334	Датчик детонации 2 (ряд 2)	спорадическая неисправность
P0335	Датчик положения коленвала	нарушение работы
P0336	Датчик положения коленвала	вне номинального диапазона
P0337	Датчик положения коленвала	слишком слабый сигнал
P0338	Датчик положения коленвала	слишком сильный сигнал
P0339	Датчик положения коленвала	спорадическая неисправность
P0340	Датчик положения распредвала	нарушение работы
P0341	Датчик положения распредвала	вне номинального диапазона
P0342	Датчик положения распредвала	слишком слабый сигнал
P0343	Датчик положения распредвала	слишком сильный сигнал
P0344	Датчик положения распредвала	спорадическая неисправность
P0345	Датчик положения распредвала А (ряд 2)	нарушение работы
P0346	Датчик положения распредвала А (ряд 2)	вне номинального диапазона
P0347	Датчик положения распредвала А (ряд 2)	слишком слабый сигнал
P0348	Датчик положения распредвала А (ряд 2)	слишком сильный сигнал
P0349	Датчик положения распредвала А (ряд 2)	спорадическая неисправность
P0350	Катушка зажигания первичная/вторичная	нарушение работы
P0351	Катушка зажигания А первичная/вторичная	нарушение работы
P0352	Катушка зажигания В первичная/вторичная	нарушение работы
P0353	Катушка зажигания С первичная/вторичная	нарушение работы
P0354	Катушка зажигания D первичная/вторичная	нарушение работы
P0356	Катушка зажигания Е первичная/вторичная	нарушение работы
P0356	Катушка зажигания F первичная/вторичная	нарушение работы
P0357	Катушка зажигания G первичная/вторичная	нарушение работы
P0358	Катушка зажигания H первичная/вторичная	нарушение работы
P0359	Катушка зажигания I первичная/вторичная	нарушение работы
P0360	Катушка зажигания J первичная/вторичная	нарушение работы
P0361	Катушка зажигания K первичная/вторичная	нарушение работы
P0362	Катушка зажигания L первичная/вторичная	нарушение работы
P0365	Датчик положения распредвала В (ряд 1)	нарушение работы

P03XX Система зажигания или ошибочное зажигание		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0366	Датчик положения распредвала В (ряд 1)	вне номинального диапазона
P0367	Датчик положения распредвала В (ряд 1)	слишком слабый сигнал
P0368	Датчик положения распредвала В (ряд 1)	слишком сильный сигнал
P0369	Датчик положения распредвала В (ряд 1)	спорадическая неисправность
P0370	Опорная отметка А	нарушение работы
P0371	Сигнал высокого разрешения А	высокая частота
P0372	Сигнал высокого разрешения А	низкая частота
P0373	Сигнал высокого разрешения А	спорадически
P0374	Сигнал высокого разрешения А	нет импульсов
P0375	Сигнал высокого разрешения В	нарушение работы
P0376	Сигнал высокого разрешения В	высокая частота
P0377	Сигнал высокого разрешения В	низкая частота
P0378	Сигнал высокого разрешения В	спорадически
P0379	Сигнал высокого разрешения В	нет импульсов
P0380	Свеча накаливания / нагревательный контур А	нарушение работы
P0381	Свеча накаливания / контрольная лампа	нарушение работы
P0382	Свеча накаливания / нагревательный контур В	нарушение работы
P0385	Датчик положения коленвала В	нарушение работы
P0386	Датчик положения коленвала В	вне номинального диапазона
P0387	Датчик положения коленвала В	слишком слабый сигнал
P0388	Датчик положения коленвала В	слишком сильный сигнал
P0389	Датчик положения коленвала В	спорадическая неисправность
P0390	Датчик положения распредвала В (ряд 2)	нарушение работы
P0391	Датчик положения распредвала В (ряд 2)	вне номинального диапазона
P0392	Датчик положения распредвала В (ряд 2)	слишком слабый сигнал
P0393	Датчик положения распредвала В (ряд 2)	слишком сильный сигнал
P0394	Датчик положения распредвала В (ряд 2)	спорадическая неисправность

P04XX Дополнительное регулирование ОГ		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0400	Рециркуляция ОГ	нарушение работы
P0401	Рециркуляция ОГ	слишком малое количество
P0402	Рециркуляция ОГ	слишком большое количество

P04XX Дополнительное регулирование ОГ		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0403	Рециркуляция ОГ (клапан или выходной каскад)	нарушение работы
P0404	Рециркуляция ОГ	вне номинального диапазона
P0405	Датчик рециркуляции ОГ А	слишком слабый сигнал
P0406	Датчик рециркуляции ОГ А	слишком сильный сигнал
P0407	Датчик рециркуляции ОГ В	слишком слабый сигнал
P0408	Датчик рециркуляции ОГ В	слишком сильный сигнал
P0410	Система впуска добавочного воздуха	нарушение работы
P0411	Система впуска добавочного воздуха	недостаточное количество
P0412	Добавочный воздух переключающий клапан А	нарушение работы
P0413	Добавочный воздух переключающий клапан А	обрыв
P0414	Добавочный воздух переключающий клапан А	короткое замыкание
P0415	Добавочный воздух переключающий клапан В	нарушение работы
P0416	Добавочный воздух переключающий клапан В	обрыв
P0417	Добавочный воздух переключающий клапан В	короткое замыкание
P0420	Катализатор, скорость преобразования (ряд 1)	слишком низкая
P0421	Катализатор, фаза нагрева (ряд 1)	слишком медленный
P0422	Главный катализатор, скорость преобразования (ряд 1)	слишком низкая
P0423	Обогреваемый катализатор, скорость преобразования (ряд 1)	слишком низкая
P0424	Температура обогреваемого катализатора (ряд 1)	слишком низкая
P0425	Датчик температуры катализатора (ряд 1)	нарушение работы
P0426	Датчик температуры катализатора (ряд 1)	вне номинального диапазона
P0427	Датчик температуры катализатора (ряд 1)	слишком слабый сигнал
P0428	Датчик температуры катализатора (ряд 1)	слишком сильный сигнал
P0429	Обогрев катализатора (ряд 1)	нарушение работы
P0430	Катализатор, скорость преобразования (ряд 2)	слишком низкая
P0431	Катализатор, фаза нагрева (ряд 2)	слишком медленный
P0432	Главный катализатор, скорость преобразования (ряд 2)	слишком низкая
P0433	Обогреваемый катализатор, скорость преобразования (ряд 2)	слишком низкая
P0434	Температура обогреваемого катализатора (ряд 2)	слишком низкая
P0435	Датчик температуры катализатора (ряд 2)	нарушение работы

P04XX Дополнительное регулирование ОГ		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0436	Датчик температуры катализатора (ряд 2)	вне номинального диапазона
P0437	Датчик температуры катализатора (ряд 2)	слишком слабый сигнал
P0438	Датчик температуры катализатора (ряд 2)	слишком сильный сигнал
P0439	Обогрев катализатора (ряд 2)	нарушение работы
P0440	Система распыления топлива	нарушение работы
P0441	Система распыления топлива	недостаточное действие
P0442	Система распыления топлива	небольшая негерметичность
P0443	Восстановительный клапан распыления топлива	нарушение работы
P0444	Восстановительный клапан распыления топлива	обрыв
P0445	Восстановительный клапан распыления топлива	короткое замыкание
P0446	Система вентиляции и распыления топлива	нарушение работы
P0447	Система вентиляции и распыления топлива	открыт
P0448	Система вентиляции и распыления топлива	короткое замыкание
P0449	Запорный клапан распыления топлива	нарушение работы
P0450	Датчик давления распыления топлива	нарушение работы
P0451	Датчик давления распыления топлива	вне номинального диапазона
P0452	Датчик давления распыления топлива	слишком слабый сигнал
P0453	Датчик давления распыления топлива	слишком сильный сигнал
P0454	Датчик давления распыления топлива	спорадическая неисправность
P0455	Система распыления топлива	значительная негерметичность
P0456	Система распыления топлива	очень незначительная негерметичность
P0457	Система распыления топлива	Открыта / неплотно закрыта пробка топливного бака
P0460	Датчик уровня топлива в баке	нарушение работы
P0461	Датчик уровня топлива в баке	вне номинального диапазона
P0462	Датчик уровня топлива в баке	слишком слабый сигнал
P0463	Датчик уровня топлива в баке	слишком сильный сигнал
P0464	Датчик уровня топлива в баке	спорадическая неисправность
P0465	Датчик восстановления	нарушение работы
P0466	Датчик восстановления	вне номинального диапазона

P04XX Дополнительное регулирование ОГ		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0467	Датчик восстановления	слишком слабый сигнал
P0468	Датчик восстановления	слишком сильный сигнал
P0469	Датчик восстановления	спорадическая неисправность
P0470	Датчик давления ОГ	нарушение работы
P0471	Датчик давления ОГ	вне номинального диапазона
P0472	Датчик давления ОГ	слишком слабый сигнал
P0473	Датчик давления ОГ	слишком сильный сигнал
P0474	Датчик давления ОГ	спорадическая неисправность
P0475	Клапан-регулятор давления ОГ	нарушение работы
P0476	Клапан-регулятор давления ОГ	вне номинального диапазона
P0477	Клапан-регулятор давления ОГ	слишком слабый сигнал
P0478	Клапан-регулятор давления ОГ	слишком сильный сигнал
P0479	Клапан-регулятор давления ОГ	спорадическая неисправность
P0480	Вентилятор охлаждения 1 управляющий контур	нарушение работы
P0481	Вентилятор охлаждения 2 управляющий контур	нарушение работы
P0482	Вентилятор охлаждения 3 управляющий контур	нарушение работы
P0483	Вентилятор охлаждения	Проверка правдоподобности
P0484	Цепь вентилятора охлаждения	Чрезмерный ток
P0485	Вентилятор охлаждения плюс / масса	нарушение работы
P0486	Датчик рециркуляции ОГ В	нарушение работы
P0487	Управление смесительной заслонкой рециркуляции ОГ	нарушение работы
P0488	Управление смесительной заслонкой рециркуляции ОГ	вне номинального диапазона
P0491	Система впуска добавочного воздуха (ряд 1)	нарушение работы
P0492	Система впуска добавочного воздуха (ряд 2)	нарушение работы

P05XX Система регулировки скорости и холостых оборотов		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0500	Датчик скорости движения	нарушение работы
P0501	Датчик скорости движения	вне номинального диапазона

P05XX Система регулировки скорости и холостых оборотов		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0502	Датчик скорости движения	слишком слабый сигнал
P0503	Датчик скорости движения	сигнал, перебой
P0505	Регулировка холостых оборотов	нарушение работы
P0506	Регулировка холостых оборотов	слишком низкие обороты
P0507	Регулировка холостых оборотов	высокие обороты
P0508	Регулировка холостых оборотов	замыкание на массу
P0509	Регулировка холостых оборотов	замыкание на плюс
P0510	Контакт холостого хода / выключатель холостого хода	нарушение работы
P0512	Управление пуском	нарушение работы
P0513	Противоугонная блокировка / ключ	неправильное кодирование
P0515	Датчик температуры батареи	нарушение работы
P0516	Датчик температуры батареи	замыкание на массу
P0517	Датчик температуры батареи	замыкание на плюс
P0520	Датчик давления моторного масла	нарушение работы
P0521	Датчик давления моторного масла	вне номинального диапазона
P0522	Датчик давления моторного масла	низкое напряжение
P0523	Датчик давления моторного масла	высокое напряжение
P0524	Давление моторного масла	слишком низкое
P0530	Датчик давления кондиционера	нарушение работы
P0531	Датчик давления кондиционера	вне номинального диапазона
P0532	Датчик давления кондиционера	слишком слабый сигнал
P0533	Датчик давления кондиционера	слишком сильный сигнал
P0534	Кондиционер, отсутствует хладагент	потеря заряда
P0540	Нагреватель всасываемого воздуха	нарушение работы
P0541	Нагреватель всасываемого воздуха	замыкание на массу
P0542	Нагреватель всасываемого воздуха	замыкание на плюс
P0544	Датчик температуры ОГ	нарушение работы
P0545	Датчик температуры ОГ	замыкание на массу
P0546	Датчик температуры ОГ	замыкание на плюс
P0547	Датчик температуры ОГ (ряд 2)	нарушение работы
P0548	Датчик температуры ОГ (ряд 2)	замыкание на массу
P0549	Датчик температуры ОГ (ряд 2)	замыкание на плюс

P05XX Система регулировки скорости и холостых оборотов		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0550	Усилитель рулевого управления, датчик давления	нарушение работы
P0551	Усилитель рулевого управления, датчик давления	вне номинального диапазона
P0552	Усилитель рулевого управления, датчик давления	слишком слабый сигнал
P0553	Усилитель рулевого управления, датчик давления	слишком сильный сигнал
P0554	Усилитель рулевого управления, датчик давления	спорадическая неисправность
P0560	Электропитание системы	нарушение работы
P0561	Электропитание системы	нестабильное
P0562	Электропитание системы	слишком низкое напряжение
P0563	Электропитание системы	слишком высокое напряжение
P0564	Темпомат, мультифункциональный входной сигнал	нарушение работы
P0565	Темпомат, сигнал включения	нарушение работы
P0566	Темпомат, сигнал выключения	нарушение работы
P0567	Темпомат, сигнал повтора	нарушение работы
P0568	Темпомат, сигнал настройки	нарушение работы
P0569	Темпомат, сигнал смещения	нарушение работы
P0570	Темпомат, сигнал ускорения	нарушение работы
P0571	Темпомат, контур включения тормозов А	нарушение работы
P0572	Темпомат, контур включения тормозов А	слишком слабый входной сигнал
P0573	Темпомат, контур включения тормозов А	слишком сильный входной сигнал
P0574	Темпомат, скорость движения	слишком высокая
P0575	Темпомат, входной контур	нарушение работы
P0576	Темпомат, входной контур	замыкание на массу
P0577	Темпомат, входной контур	замыкание на плюс

P06XX Компьютер и выходные сигналы		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0600	Последовательный интерфейс	нарушение работы
P0601	ЭБУ	ошибка контрольной суммы
P0602	ЭБУ	программная ошибка
P0603	ЭБУ	внутренняя ошибка напряжения

P06XX Компьютер и выходные сигналы		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0604	ЭБУ (RAM)	внутренняя ошибка ЗУ
P0605	ЭБУ (ROM)	внутренняя ошибка ЗУ
P0606	ЭБУ, микропроцессор	неисправен
P0607	ЭБУ, микропроцессор	ограниченная функция
P0608	Модуль датчика скорости движения, выход А	нарушение работы
P0609	Модуль датчика скорости движения, выход В	нарушение работы
P0610	ЭБУ, дополнительное оснащение	неисправен
P0615	Блокировка запуска, реле	нарушение работы
P0616	Блокировка запуска, реле	замыкание на массу
P0617	Блокировка запуска, реле	замыкание на плюс
P0618	ЭБУ, альтернативное топливо	неисправен
P0619	ЭБУ, альтернативное топливо	неисправен
P0620	Генератор, управляющий контур	нарушение работы
P0621	Генератор, управление лампами	нарушение работы
P0622	Генератор, полевой контроль	нарушение работы
P0623	Лампа контроля заряда	нарушение работы
P0624	Лампа контроля пробки бака	нарушение работы
P0630	Идентификационный номер транспортного средства, ЭБУ двигателя	неправильно или вообще не запрограммирован
P0631	Идентификационный номер транспортного средства, КПП	неправильно или вообще не запрограммирован
P0635	Активизация усилителя рулевого управления	нарушение работы
P0636	Активизация усилителя рулевого управления	замыкание на массу
P0637	Активизация усилителя рулевого управления	замыкание на плюс
P0638	Управление дроссельной заслонкой (ряд 1)	вне номинального диапазона
P0639	Управление дроссельной заслонкой (ряд 2)	вне номинального диапазона
P0640	Управление подогревом всасываемого воздуха	нарушение работы
P0645	Активизация реле муфты компрессора кондиционера	нарушение работы
P0646	Активизация реле муфты компрессора кондиционера	замыкание на массу
P0647	Активизация реле муфты компрессора кондиционера	замыкание на плюс
P0648	Контрольная лампа противоугонной блокировки	нарушение работы
P0649	Сигнальная индикация скорости	нарушение работы
P0650	Регулирующий контур - сигнальная лампа	нарушение работы

P06XX Компьютер и выходные сигналы		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0654	Обороты двигателя, выходной сигнал	нарушение работы
P0655	Управляющий контур, контрольная лампа «перегрев двигателя»	нарушение работы
P0656	Датчик уровня топлива, выходной контур	нарушение работы
P0660	Регулирующий клапан переключения всасывающей трубы (ряд 1)	нарушение работы
P0661	Регулирующий клапан переключения всасывающей трубы (ряд 1)	замыкание на массу
P0662	Регулирующий клапан переключения всасывающей трубы (ряд 1)	замыкание на плюс
P0663	Регулирующий клапан переключения всасывающей трубы (ряд 2)	нарушение работы
P0664	Регулирующий клапан переключения всасывающей трубы (ряд 2)	замыкание на массу
P0665	Регулирующий клапан переключения всасывающей трубы (ряд 2)	замыкание на плюс
P0670	Блок управления временем накала	нарушение работы
P0671	Свеча накаливания цилиндр 1	нарушение работы
P0672	Свеча накаливания цилиндр 2	нарушение работы
P0673	Свеча накаливания цилиндр 3	нарушение работы
P0674	Свеча накаливания цилиндр 4	нарушение работы
P0675	Свеча накаливания цилиндр 5	нарушение работы
P0676	Свеча накаливания цилиндр 6	нарушение работы
P0677	Свеча накаливания цилиндр 7	нарушение работы
P0678	Свеча накаливания цилиндр 8	нарушение работы
P0679	Свеча накаливания цилиндр 9	нарушение работы
P0680	Свеча накаливания цилиндр 10	нарушение работы
P0681	Свеча накаливания цилиндр 11	нарушение работы
P0682	Свеча накаливания цилиндр 12	нарушение работы
P0683	Коммуникация, блок управления временем накала и двигателем	нарушение работы
P0684	Коммуникация, блок управления временем накала и двигателем	неисправность

P07XX КПП и блок управления КПП		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0700	КПП, система регулировки	нарушение работы
P0701	КПП, система регулировки	вне номинального диапазона

P07XX КПП и блок управления КПП		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0702	КПП, система регулировки	электрическая неисправность
P0703	Переключающая схема преобразователя крутящего момента / тормозов В	нарушение работы
P0704	Выключатель сцепления	нарушение работы
P0705	Датчик передачи	нарушение работы
P0706	Датчик передачи	вне номинального диапазона
P0707	Датчик передачи	слишком слабый сигнал
P0708	Датчик передачи	слишком сильный сигнал
P0709	Датчик передачи	спорадическая неисправность
P0710	Датчик температуры трансмиссионного масла	нарушение работы
P0711	Датчик температуры трансмиссионного масла	вне номинального диапазона
P0712	Датчик температуры трансмиссионного масла	слишком слабый сигнал
P0713	Датчик температуры трансмиссионного масла	слишком сильный сигнал
P0714	Датчик температуры трансмиссионного масла	спорадическая неисправность
P0715	Турбина, датчик входных оборотов	нарушение работы
P0716	Турбина, датчик входных оборотов	вне номинального диапазона
P0717	Турбина, датчик входных оборотов	нет сигнала
P0718	Турбина, датчик входных оборотов	спорадическая неисправность
P0719	Переключающая схема преобразователя крутящего момента / тормозов В	слишком слабый сигнал
P0720	Датчик выходных оборотов	нарушение работы
P0721	Датчик выходных оборотов	вне номинального диапазона
P0722	Датчик выходных оборотов	нет сигнала
P0723	Датчик выходных оборотов	спорадическая неисправность
P0724	Переключающая схема преобразователя крутящего момента / тормозов В	слишком сильный сигнал
P0725	Датчик оборотов двигателя	нарушение работы
P0726	Датчик оборотов двигателя	вне номинального диапазона
P0727	Датчик оборотов двигателя	нет сигнала
P0728	Датчик оборотов двигателя	спорадическая неисправность

P07XX КПП и блок управления КПП		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0730	Передаточное отношение	неправильное
P0731	Передаточное отношение, 1-я передача	неправильное
P0732	Передаточное отношение, 2-я передача	неправильное
P0733	Передаточное отношение, 3-я передача	неправильное
P0734	Передаточное отношение, 4-я передача	неправильное
P0735	Передаточное отношение, 5-я передача	неправильное
P0736	Передаточное отношение, задняя передача	неправильное
P0740	Муфта преобразователя крутящего момента	нарушение работы
P0741	Муфта преобразователя крутящего момента	остается разомкнутой
P0742	Муфта преобразователя крутящего момента	остается замкнутой
P0743	Муфта преобразователя крутящего момента	электрическая неисправность
P0744	Муфта преобразователя крутящего момента	спорадическая неисправность
P0745	Электромагнитный клапан регулятора давления А	нарушение работы
P0746	Электромагнитный клапан регулятора давления А	остается открытым
P0747	Электромагнитный клапан регулятора давления А	остается закрытым
P0748	Электромагнитный клапан регулятора давления А	электрическая неисправность
P0749	Электромагнитный клапан регулятора давления А	спорадическая неисправность
P0750	Переключающий э/м клапан А	нарушение работы
P0761	Переключающий э/м клапан А	остается открытым
P0762	Переключающий э/м клапан А	остается закрытым
P0753	Переключающий э/м клапан А	электрическая неисправность
P0754	Переключающий э/м клапан А	спорадическая неисправность
P0755	Переключающий э/м клапан В	нарушение работы
P0756	Переключающий э/м клапан В	остается открытым
P0757	Переключающий э/м клапан В	остается закрытым
P0758	Переключающий э/м клапан В	электрическая неисправность
P0759	Переключающий э/м клапан В	спорадическая неисправность
P0760	Переключающий э/м клапан С	нарушение работы
P0761	Переключающий э/м клапан С	остается разомкнутой
P0762	Переключающий э/м клапан С	остается открытым

P07XX КПП и блок управления КПП		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0763	Переключающий э/м клапан C	электрическая неисправность
P0764	Переключающий э/м клапан C	спорадическая неисправность
P0765	Переключающий э/м клапан D	нарушение работы
P0766	Переключающий э/м клапан D	остается открытым
P0767	Переключающий э/м клапан D	остается закрытым
P0768	Переключающий э/м клапан D	электрическая неисправность
P0769	Переключающий э/м клапан D	спорадическая неисправность
P0770	Переключающий э/м клапан E	нарушение работы
P0771	Переключающий э/м клапан E	остается открытым
P0772	Переключающий э/м клапан E	остается закрытым
P0773	Переключающий э/м клапан E	электрическая неисправность
P0774	Переключающий э/м клапан E	спорадическая неисправность
P0775	Электромагнитный клапан регулятора давления B	нарушение работы
P0776	Электромагнитный клапан регулятора давления B	остается открытым
P0777	Электромагнитный клапан регулятора давления B	остается закрытым
P0778	Электромагнитный клапан регулятора давления B	электрическая неисправность
P0779	Электромагнитный клапан регулятора давления B	спорадическая неисправность
P0780	Передача АКПП	нарушение работы
P0781	Передачи АКПП 1-2	нарушение работы
P0782	Передачи АКПП 2-3	нарушение работы
P0783	Передачи АКПП 3-4	нарушение работы
P0784	Передачи АКПП 4-5	нарушение работы
P0785	Переключающий / перемещающий электромагнитный клапан	нарушение работы
P0786	Переключающий / перемещающий электромагнитный клапан	вне номинального диапазона
P0787	Переключающий / перемещающий электромагнитный клапан	слишком слабый сигнал
P0788	Переключающий / перемещающий электромагнитный клапан	слишком сильный сигнал
P0789	Переключающий / перемещающий электромагнитный клапан	спорадическая неисправность

P07XX КПП и блок управления КПП		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0790	Переключатель программ «Normal» / «Sport»	нарушение работы
P0791	Датчик оборотов промежуточного вала	нарушение работы
P0792	Датчик оборотов промежуточного вала	вне номинального диапазона
P0793	Датчик оборотов промежуточного вала	нет сигнала
P0794	Датчик оборотов промежуточного вала	спорадическая неисправность
P0795	Электромагнитный клапан регулятора давления С	нарушение работы
P0796	Электромагнитный клапан регулятора давления С	остается открытым
P0797	Электромагнитный клапан регулятора давления С	остается закрытым
P0798	Электромагнитный клапан регулятора давления С	электрическая неисправность
P0799	Электромагнитный клапан регулятора давления С	спорадическая неисправность

P08XX КПП и блок управления КПП		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0801	Задняя передача, блокировка	нарушение работы
P0803	Регулирующий контур 1-4 э/м клапан переключения на более высокую передачу	нарушение работы
P0804	Регулирующий контур 1-4 лампы переключения на более высокую передачу	нарушение работы
P0805	Датчик положения муфты	нарушение работы
P0806	Датчик положения муфты	вне номинального диапазона
P0807	Датчик положения муфты	замыкание на массу
P0808	Датчик положения муфты	замыкание на плюс
P0809	Датчик положения муфты	спорадическая неисправность
P0810	Управление положением муфты	нарушение работы / неисправность
P0811	Пробуксовывание муфты	слишком большое
P0812	Контур включения задней передачи	нарушение работы
P0813	Контур выключения задней передачи	нарушение работы
P0814	Индикация передачи АКПП	нарушение работы
P0815	Кнопка переключения на повышенную передачу	нарушение работы
P0816	Кнопка переключения на пониженную передачу	нарушение работы
P0817	Контур блокировки стартера	нарушение работы

P08XX КПП и блок управления КПП		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0818	Разъединитель трансмиссии	нарушение работы
P0820	Рычаг переключения передач X-Y датчик положения	нарушение работы
P0821	Рычаг переключения передач, позиционирование, ось X	нарушение работы
P0822	Рычаг переключения передач, позиционирование, ось Y	нарушение работы
P0823	Рычаг переключения передач, позиционирование, ось X	спорадическая неисправность
P0824	Рычаг переключения передач, позиционирование, ось Y	спорадическая неисправность
P0825	Рычаг переключения передач, переключатель «нажатие/оттягивание»	нарушение работы
P0830	Выключатель педали сцепления А	нарушение работы
P0831	Выключатель педали сцепления А	замыкание на массу
P0832	Выключатель педали сцепления А	замыкание на плюс
P0833	Выключатель педали сцепления В	нарушение работы
P0834	Выключатель педали сцепления В	замыкание на массу
P0835	Выключатель педали сцепления В	замыкание на плюс
P0836	Цепь активизации полного привода	нарушение работы
P0837	Цепь активизации полного привода	вне номинального диапазона
P0838	Цепь активизации полного привода	замыкание на массу
P0839	Цепь активизации полного привода	замыкание на плюс
P0840	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла А	нарушение работы
P0841	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла А	вне номинального диапазона
P0842	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла А	замыкание на массу
P0843	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла А	замыкание на плюс
P0844	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла А	спорадическая неисправность
P0845	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла В	нарушение работы
P0846	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла В	вне номинального диапазона
P0847	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла В	замыкание на массу
P0848	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла В	замыкание на плюс

P08XX КПП и блок управления КПП		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P0849	Датчик давления / переключатель трансмиссионного масла В	спорадическая неисправность

P11XX Дозирование топлива и воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1102	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 1)	нарушение работы
P1103	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 1)	слишком маленькая мощность
P1104	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 1)	замыкание на плюс
P1105	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 2)	замыкание на плюс
P1107	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 2, датчик 1)	замыкание на плюс
P1110	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 2, датчик 2)	замыкание на плюс
P1115	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 1)	замыкание на массу
P1116	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 1)	обрыв
P1117	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 2)	замыкание на массу
P1118	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 1, датчик 2)	обрыв
P1119	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 2, датчик 1)	замыкание на массу
P1120	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 2, датчик 1)	обрыв
P1121	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 2, датчик 2)	замыкание на массу
P1122	Контур обогрева лямбда-зонда (ряд 2, датчик 2)	обрыв
P1123	Корректировка смеси, добавка (ряд 1)	ниже мин. предела
P1124	Корректировка смеси, добавка (ряд 1)	выше макс. предела
P1125	Корректировка смеси, добавка (ряд 2)	ниже мин. предела
P1126	Корректировка смеси адитивная (ряд 2)	выше макс. предела
P1127	Корректировка смеси мультипликативная (ряд 1)	ниже мин. предела
P1128	Корректировка смеси мультипликативная (ряд 1)	выше макс. предела
P1129	Корректировка смеси мультипликативная (ряд 2)	ниже мин. предела
P1130	Корректировка смеси мультипликативная (ряд 2)	выше макс. предела
P1136	Корректировка смеси, добавка (ряд 1)	ниже мин. предела
P1137	Корректировка смеси, добавка (ряд 1)	выше макс. предела
P1138	Корректировка смеси, добавка (ряд 2)	ниже мин. предела
P1139	Корректировка смеси, добавка (ряд 2)	выше макс. предела
P1140	Определение нагрузки	вне номинального диапазона
P1141	Определение нагрузки	обрыв

P11XX Дозирование топлива и воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1142	Определение нагрузки	слишком маленькая
P1143	Определение нагрузки	слишком большая
P1146	Измеритель массы или объема воздуха (ряд 2)	нарушение работы
P1147	Датчик температуры ОЖ (ряд 2)	нарушение работы
P1148	Датчик температуры всасываемого воздуха (ряд 2)	нарушение работы
P1149	Датчик высоты / датчик давления во впускной трубе (ряд 2)	нарушение работы
P1162	Датчик положения дроссельной заслонки / педали (ряд 2)	нарушение работы
P1163	Уровень масла в двигателе	слишком низкий

P12XX Дозирование топлива и воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1201	Форсунка цилиндр 1	электрическая неисправность
P1202	Форсунка цилиндр 2	электрическая неисправность
P1203	Форсунка цилиндр 3	электрическая неисправность
P1204	Форсунка цилиндр 4	электрическая неисправность
P1206	Форсунка цилиндр 5	электрическая неисправность
P1206	Форсунка цилиндр 6	электрическая неисправность
P1207	Форсунка цилиндр 7	электрическая неисправность
P1208	Форсунка цилиндр 8	электрическая неисправность
P1209	Форсунка цилиндр 9	электрическая неисправность
P1210	Форсунка цилиндр 10	электрическая неисправность
P1211	Форсунка цилиндр 11	электрическая неисправность
P1212	Форсунка цилиндр 12	электрическая неисправность
P1213	Форсунка цилиндр 1	замыкание на плюс
P1214	Форсунка цилиндр 2	замыкание на плюс
P1215	Форсунка цилиндр 3	замыкание на плюс
P1216	Форсунка цилиндр 4	замыкание на плюс
P1217	Форсунка цилиндр 5	замыкание на плюс
P1218	Форсунка цилиндр 6	замыкание на плюс
P1219	Форсунка цилиндр 7	замыкание на плюс
P1220	Форсунка цилиндр 8	замыкание на плюс
P1221	Форсунка цилиндр 9	замыкание на плюс
P1222	Форсунка цилиндр 10	замыкание на плюс

P12XX Дозирование топлива и воздуха		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1223	Форсунка цилиндр 11	замыкание на плюс
P1224	Форсунка цилиндр 12	замыкание на плюс
P1225	Форсунка цилиндр 1	замыкание на массу
P1226	Форсунка цилиндр 2	замыкание на массу
P1227	Форсунка цилиндр 3	замыкание на массу
P1228	Форсунка цилиндр 4	замыкание на массу
P1229	Форсунка цилиндр 5	замыкание на массу
P1230	Форсунка цилиндр 6	замыкание на массу
P1231	Форсунка цилиндр 7	замыкание на массу
P1232	Форсунка цилиндр 8	замыкание на массу
P1233	Форсунка цилиндр 9	замыкание на массу
P1234	Форсунка цилиндр 10	замыкание на массу
P1235	Форсунка цилиндр 11	замыкание на массу
P1236	Форсунка цилиндр 12	замыкание на массу
P1237	Форсунка цилиндр 1	обрыв
P1238	Форсунка цилиндр 2	обрыв
P1239	Форсунка цилиндр 3	обрыв
P1240	Форсунка цилиндр 4	обрыв
P1241	Форсунка цилиндр 5	обрыв
P1242	Форсунка цилиндр 6	обрыв
P1243	Форсунка цилиндр 7	обрыв
P1244	Форсунка цилиндр 8	обрыв
P1245	Форсунка цилиндр 9	обрыв
P1246	Форсунка цилиндр 10	обрыв
P1247	Форсунка цилиндр 11	обрыв
P1248	Форсунка цилиндр 12	обрыв
P1270	Сравнение крутящего момента, ряд 1 - ряд 2	вне номинального диапазона

P13XX Система зажигания или ошибочное зажигание		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1300	Датчик положения коленвала (ряд 2)	нарушение работы
P1340	Датчик частоты вращения коленвала	Правдоподобность
P1383	Контроль цепи зажигания	нарушение работы
P1384	Датчик детонации 3	нарушение работы

P13XX Система зажигания или ошибочное зажигание		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1385	Датчик детонации 4	нарушение работы
P1386	Анализирующая схема регулировки детонации	нарушение работы
P1396	Датчик оборотов	некорректный сигнал
P1397	Датчик положения распредвала (ряд 2)	нарушение работы

P14XX Дополнительная регулировка ОГ		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1401	Клапан системы рециркуляции ОГ	замыкание на массу
P1402	Клапан системы рециркуляции ОГ	замыкание на плюс
P1409	Система распыления топлива, восстановительный клапан	нарушение работы
P1410	Система распыления топлива, восстановительный клапан	замыкание на плюс
P1412	Датчик давления рециркуляции ОГ	слишком слабый сигнал
P1413	Датчик давления рециркуляции ОГ	слишком сильный сигнал
P1420	Добавочный воздух, переключающий клапан	нарушение работы
P1421	Добавочный воздух, переключающий клапан	замыкание на массу
P1422	Добавочный воздух, переключающий клапан	замыкание на плюс
P1423	Система впуска добавочного воздуха (ряд 1)	слишком маленький объем
P1425	Система распыления топлива, восстановительный клапан	замыкание на массу
P1426	Система распыления топлива, восстановительный клапан	обрыв
P1437	Датчик температуры ОГ (ряд 1)	нарушение работы
P1443	Система распыления топлива (ряд 2)	слишком слабая эффективность
P1444	Датчик температуры ОГ (ряд 2)	нарушение работы
P1445	Температура катализатора (ряд 1)	нарушение работы
P1446	Функция защиты катализатора (ряд 1)	активизирована
P1447	Лампа защиты катализатора (ряд 1)	нарушение работы
P1448	Заслонка ОГ, байпас на катализаторе (ряд 1)	нарушение работы / неисправность
P1449	Температура катализатора (ряд 2)	нарушение работы
P1450	Реле системы впуска добавочного воздуха	замыкание на плюс
P1451	Реле системы впуска добавочного воздуха	замыкание на массу
P1452	Реле системы впуска добавочного воздуха	обрыв

P14XX Дополнительная регулировка ОГ		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1453	Выходной каскад насоса добавочного воздуха	электрическая неисправность
P1454	Функция защиты катализатора (ряд 2)	активизирована
P1458	Вмешательство компрессора кондиционера	нарушение работы
P1459	Лампа защиты катализатора (ряд 2)	нарушение работы
P1461	Заслонка ОГ, байпас на катализаторе (ряд 2)	нарушение работы / неисправность
P1462	Выходной каскад запорного клапана фильтра с активизированным углем (ряд 2)	нарушение работы
P1463	Система впуска добавочного воздуха (ряд 2)	нарушение работы
P1490	Система распыления топлива, восстановительный клапан	нарушение работы

P15XX Система регулировки скорости и холостых оборотов		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1500	Реле топливного насоса	нарушение работы
P1501	Реле топливного насоса	замыкание на массу
P1502	Реле топливного насоса	замыкание на плюс
P1509	Открывающая обмотка, сервопривод холостого хода (ряд 1)	нарушение работы
P1510	Открывающая обмотка, сервопривод холостого хода (ряд 1)	замыкание на плюс
P1511	Переключение всасывающей трубы (ряд 1)	электрическая неисправность
P1512	Переключение всасывающей трубы (ряд 1)	замыкание на плюс
P1513	Открывающая обмотка, сервопривод холостого хода	замыкание на массу
P1514	Открывающая обмотка, сервопривод холостого хода	обрыв
P1515	Переключение всасывающей трубы (ряд 1)	замыкание на массу
P1516	Переключение всасывающей трубы (ряд 1)	обрыв
P1519	Управление распредвалом (ряд 1)	нарушение работы
P1522	Управление распредвалом (ряд 2)	нарушение работы
P1525	Сервопривод управления распредвалом (ряд 1)	нарушение работы
P1526	Сервопривод управления распредвалом (ряд 1)	замыкание на плюс
P1527	Сервопривод управления распредвалом (ряд 1)	замыкание на массу
P1528	Сервопривод управления распредвалом (ряд 1)	обрыв
P1533	Сервопривод управления распредвалом (ряд 2)	нарушение работы

P15XX Система регулировки скорости и холостых оборотов		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1534	Сервопривод управления распредвалом (ряд 2)	замыкание на плюс
P1535	Сервопривод управления распредвалом (ряд 2)	замыкание на массу
P1536	Сервопривод управления распредвалом (ряд 2)	обрыв
P1541	Реле топливного насоса	обрыв
P1542	Сигнал датчика положения педали газа	вне номинального диапазона
P1543	Потенциометр сервопривода дроссельной заслонки	слишком слабый сигнал
P1544	Потенциометр сервопривода дроссельной заслонки	слишком сильный сигнал
P1550	Закрывающая обмотка, сервопривод холостого хода	нарушение работы
P1551	Закрывающая обмотка, сервопривод холостого хода	обрыв
P1552	Закрывающая обмотка, сервопривод холостого хода	замыкание на массу
P1553	Закрывающая обмотка, сервопривод холостого хода	замыкание на плюс
P1570	Противоугонная блокировка	активизирована
P1571	Противоугонная блокировка	разомкнут
P1574	Вмешательство ASR	нарушение работы
P1578	Открывающая обмотка, сервопривод холостого хода (ряд 2)	нарушение работы
P1579	Закрывающая обмотка, сервопривод холостого хода (ряд 2)	нарушение работы
P1580	Сервопривод дроссельной заслонки (ряд 1)	нарушение работы
P1581	Сервопривод дроссельной заслонки (ряд 2)	нарушение работы
P1582	Адаптация холостого хода	нарушение работы
P1584	Выключатель стоп-сигнала	нарушение работы
P1585	Пропуск при пустом баке	нарушение работы
P1587	Электропитание системы (ряд 2)	нарушение работы
P1588	Противоугонная блокировка (ряд 2)	активизирована
P1589	Анализирующая схема регулировки детонации (ряд 2)	нарушение работы
P1593	Переключение всасывающей трубы (ряд 2)	нарушение работы
P1594	Переключение всасывающей трубы (ряд 2)	замыкание на массу
P1595	Переключение всасывающей трубы (ряд 2)	замыкание на плюс

P16XX Компьютер и выходные сигналы		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1602	Постоянный плюс	слишком маленький
P1603	Постоянный плюс	слишком большой

P16XX Компьютер и выходные сигналы		
Код неисправности	Деталь или функция	Тип неисправности
P1605	Датчик ускорения	нарушение работы
P1606	Сигнал датчика ускорения	вне номинального диапазона
P1609	Сигнал датчика ускорения	замыкание на массу
P1611	Активизация сигнальной лампы ОГ	замыкание на массу
P1613	Активизация сигнальной лампы ОГ	обрыв
P1614	Активизация сигнальной лампы ОГ	замыкание на плюс
P1616	Датчик ускорения	слишком слабый сигнал
P1617	Датчик ускорения	слишком сильный сигнал
P1624	Активизация сигнальной лампы ОГ	активизирована
P1625	CAN-шина EGS	нарушение работы
P1658	Реле топливного насоса (ряд 2)	нарушение работы
P1672	Степень вентилятора В	нарушение работы
P1673	Степень вентилятора А	нарушение работы
P1690	Сигнальная лампа ОГ	нарушение работы
P1691	Сигнальная лампа ОГ	нет сигнала
P1692	Сигнальная лампа ОГ	замыкание на массу
P1693	Сигнальная лампа ОГ	замыкание на плюс
P1697	Сигнальная лампа ОГ (ряд 2)	нарушение работы

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ABS Антиблокировочная система

ACEA Ассоциация Европейских автопроизводителей

ASR Антипробуксовочная система

BIP Beginning of Injection Period. Начало впрыска в системе «насос-форсунка»

CAI Controlled Auto Ignition. Управляемое зажигание в бензиновых двигателях

CAN Controller Area Network. Шина или кольцевая шина для передачи данных

CARB California Air Resources Board. Комиссия по охране воздушных ресурсов штата Калифорния

CCC Close Coupled Catalyst. Катализатор с близко расположенными элементами

CCS Combined Combustion System. Новый способ организации процесса сгорания для бензиновых и дизельных двигателей

CDC City Driving Cycle. Городской цикл NECD

CGI Charged Gasoline Injection. Непосредственный впрыск бензина Mercedes

CH Углеводороды

CIN Calibration Identification Number. Идентификационный номер калибровки

CLD Хемолюминесцентный детектор

CRS Система Common Rail

CRT Continuous Regeneration Trap. Ловушка с непрерывным восстановлением

CSF Catalysed Soot Filter. Фильтр с каталитическим покрытием

CSI Compression Spark Ignition. Новый способ организации процесса сгорания для бензиновых двигателей

CVN Calibration Verification Number. Номер проверки калибровки

D-CAT Diesel Clean Advanced Technologies. Передовые экотехнологии для дизтоплива

DIN Немецкий промышленный стандарт

D-OBD Бортовая диагностика дизельного двигателя

DPF Сажевый фильтр

DSC Система динамической устойчивости

EC European Community. Евросоюз

EOBD Европейская бортовая диагностика

EPI Exhaust Port Injector. Специальная форсунка после выпуска

ESC European Stationary Cycle. Европейский стационарный цикл

ESP Система курсовой устойчивости

ETC European Transient Cycle. Европейский переходный цикл

EZEV Equivalent Zero Emission Vehicles. Автомобили с эквивалентными нулевыми выбросами

FAP Filtre à Particules. Сажевый фильтр

FBC Fuel Borne Catalyst. Присадка к сажевому фильтру

FSI Fuel Stratified Injection. Непосредственный впрыск бензина VW/Audi

FTP Federal Test Procedure. Американский испытательный цикл

- GDI** Gasoline Direct Injection. Непосредственный впрыск бензина Mitsubishi
- HADI** Hydraulically Amplified Diesel Injector. Форсунка 4-го поколения
- HCCI** Homogeneous Charge Compression Ignition. Новый способ организации процесса сгорания для бензиновых двигателей
- HJS** Поставщик катализаторов и фильтров
- HPI** High Pressure Injection. Впрыск под высоким давлением
- ISO** International Organization for Standardization. Международная организация по стандартизации
- KWP** Key Word Protokoll. Протокол ключевых слов
- LEV** Low Emission Vehicles. Автомобили с низким уровнем выбросов
- LPG** Liquefied Petroleum Gas. Сжиженный газ
- LSU** Selective Catalytic Reduction. Селективное каталитическое восстановление
- LTC** Low Temperature Combustion. Низкотемпературное сжигание
- MIL** Malfunction Indicator Lamp. Контрольная лампа неисправности системы OBD
- NDIR** Non-Dispersive Infra Red. Не дисперсный инфракрасный
- NEDC** New European Driving Cycle. Новый европейский цикл движения
- OBD** Бортовая диагностика
- OBM** Бортовое измерение
- PDE** Блок «насос-форсунка»
- PDI** Piezo Direct Injection. Непосредственный пьезовпрыск
- PID** Идентификация параметров
- PM** Particle of Matter. Частицы, проходящие сквозь сетку
- PPD** Пьезонасосная форсунка
- ppm** Промилле
- SAE** Society of Automotive Engineers. Общество автомобильных инженеров США
- SCR** Selective Catalytic Reduction. Селективное каталитическое восстановление
- SCRT** Selective Catalytic Reduction trap. Ловушка селективного каталитического восстановления
- SNR** Селективная рециркуляция оксидов азота
- SULEV** Super Ultra Low Emission Vehicles. Автомобили со сверхнизким уровнем токсичности ОГ
- SVC** Saab Variable Compression. Регулируемое сжатие, Saab
- TID** Идентификация испытаний
- TLEV** Transient Low Emission Vehicles. Автомобили с умеренно низким уровнем токсичности ОГ
- TSI** Turbo Stratified Injection. Непосредственный впрыск бензина VW/Audi
- UFP** Ультрамелкие частицы
- ULEV** Super Ultra Low Emission Vehicles. Автомобили с очень низким уровнем токсичности ОГ
- VIN** Vehicle Identification Number. Идентификационный номер транспортного средства
- VTEC** Variable Valve Timing and Lift Electronic Control. Регулируемое управление клапанами, Honda
- VTG** Изменяемая геометрия турбины
- ZEV** Zero Emission Vehicles. Автомобили с нулевой токсичностью ОГ
- АКБ** Аккумуляторная батарея
- АКПП** Автоматическая коробка перемены передач
- ВМТ** Верхняя мертвая точка
- КЗ** Короткое замыкание
- КПП** Коробка перемены передач
- ОГ** Отработавшие газы
- ОЖ** Охлаждающая жидкость
- ПДК** Предельно допустимая концентрация
- ПЗУ** Программируемое запоминающее устройство
- ПО** Программное обеспечение
- ПТС** Паспорт транспортного средства
- СТО** Станция технического обслуживания
- ТС** Транспортное средство
- ЭБУ** Электронный блок управления двигателем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Обучение для специалистов по обслуживанию Audi: двигатель V12 6.0 л в Audi A8, Программа самообразования 268, 11/2001; Audi AG.

Практическое обслуживание автомобилей: специальное издание, приложение «Бортовая диагностика»; Auto Bussiness Verlag, 8/2001.

Bosch: Вспомогательные программы ESItronic, KTS 500, FSA 740.

Bosch: Европейская бортовая диагностика OBD, 02/2002; фирменное издание.

Bosch: Диагностика блоков управления через интерфейс OBD, 1994. Robert Bosch GmbH; фирменное издание.

Bosch: Информация для преподавателей технических училищ, процесс проверки OBD у автомобилей с G-катализатором, 2002/3; Широкополосный лямбда-зонд 1998/3. Robert Bosch GmbH.

Брауншвайг М., Чамецки Т.: Бортовая диагностика у дизельных двигателей, MTZ 7–8/2004, с. 552–557. Vereinte Motorverlage GmbH & Co. KG, Stuttgart.

Deutsche Bank: «Благородное» будущее — платина и палладий как универсальное средство, 01/2005; фирменное издание.

Д-р Гордо Й.: Хорошее качество воздуха только с дополнительной очисткой ОГ; Доклад на 3-й Конференции FAD в Дрездене.

Д-р Цикоридзе Г.: Решения по одновременному снижению концентраций лимити-

рованных вредных компонентов. Доклад на 3-й Конференции FAD в Дрездене.

Предложение ЕС: Проект Постановления Европарламента и Европейского Совета по выбросам вредных веществ из автомобилей (Евро-5).

FAD e.V.: Требования к очистке ОГ у дизельных двигателей. 2-я Конференция FAD 10.11–11.11.2004 в Дрездене, разные доклады.

FAD e.V.: Требования к очистке ОГ у дизельных двигателей. 3-я Конференция FAD 09.11–10.11.2005 в Дрездене, разные доклады.

Hella: Электроника для ралли. Техническая памятка № 4, 2003 г.; Hella KG Hueck & Co..

Эксплуатация автомобилей: Технические сообщения. Выдержка из справочника по дорожному движению 3/2005. Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG, издание 14/2005 с. 23–38.

Эксплуатация автомобилей: Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG, издание 24/2003 с. 35.

Lfu: Информация о выхлопных газах автомобилей. Баварское ведомство по охране окружающей среды, апрель 2003 г.; информационное издание.

Mercedes-Benz: Выбросы выхлопных газов у легковых и легких коммерческих автомобилей, май 2005 г.; фирменное издание.

NGK/NTK: Все тайны лямбда. NGK Spark Plug Europe GmbH, 03/2002; фирменное издание.

Прайс Р.: Экологичные дизельные двигатели, эксплуатация автомобилей.

Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG, издание 38/2005 с. 34–36.

Разенов Й.: Классовое общество. Эксплуатация автомобилей, Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG, издание 5/2006 с. 3.

Директива 98/69/EG: ДИРЕКТИВА 98/69/EG ЕВРОПАРЛАМЕНТА И СОВЕТА ОТ 13 октября 1998 года о мерах борьбы с загрязнением воздуха выхлопными газами и изменение Директивы Совета (AbI. L 350 от 28.12.1998, с. 1)

Роше Л., Гарсиа Ф.: Новое поколение топливного катализатора для восстановления сажевых фильтров; Доклад на 3-й Конференции FAD в Дрездене.

Рокош У.: Справочник по курсу «Проверка токсичности ОГ», 6-е издание 02/2006. Лекционные материалы к подготовительному курсу на сдачу экзамена для автомехаников, 12-е издание 01/2006; фирменное издание.

Служба сервиса Seat: системы для очистки ОГ, автодидактическая программа № 1 03/1990.

Sun Diagnostics: EuroTechCentre News, издания 005/03 и 008/03; горячая линия.

Министерство охраны окружающей среды ФРГ: выбросы вредных веществ в атмосферу по группам выбросов, 2003 г.; Информация; бортовая диагностика/бортовое измерение; отдел I3, 10/2002; Информация; полевой контроль, отд. I3, 10/2002; Информация; Выбросы благородных металлов из катализаторов легковых машин; отдел I3, 10/2002; информация.

Министерство охраны окружающей среды ФРГ: дизельное топливо будущего; UBA I3.2, 07/2003; информация.

Обучение для специалистов по обслуживанию Volkswagen AG: европейская бортовая диагностика бензиновых двигателей, программа для самостоятельного изучения 231, 05/2000; европейская бортовая диагностика дизельных двигателей, программа для самостоятельного изучения 315, 06/2003; бортовая диагностика II, программа для самостоятельного изучения 175, 03/1999. Volkswagen AG, Wolfsburg.

Обучение для специалистов по обслуживанию Volkswagen AG: Сажевый фильтр с каталитическим покрытием, программа для самостоятельного изучения 336, 02/2005; сажевый фильтр с присадкой; программа для самостоятельного изучения 330, 05/2004; Volkswagen AG, Wolfsburg.

Обучение для специалистов по обслуживанию Volkswagen AG: Система управления двигателем V12 в модели Phaeton. программа для самостоятельного изучения 250 03/2002; Volkswagen AG, Wolfsburg.

Винтерхаген Й.: Новый Peugeot 607. ATZ 5/200 с. 300–308; Vereinte Motorverlage GmbH & Co. KG, Stuttgart.

Вольф К., Плодек Д.: BMW 750 с электрообогревом катализатора. MTZ 11/1998 с. 752–760. Vereinte Motorverlage GmbH & Co. KG, Stuttgart.

Уве Рокош
БОРТОВАЯ ДИАГНОСТИКА

<i>Главный редактор</i>	Алексей Ревин
<i>Редакторы</i>	Виктор Леликов Александр Кривицкий Алексей Болдырев
<i>Обложка</i>	Сергей Самсонов
<i>Макет</i>	Александр Савин
<i>Верстка</i>	Коненко Илья
<i>Технический редактор</i>	Лариса Рассказова
<i>Корректор</i>	Лариса Рассказова

Подписано в печать 18.12.2012. Формат 70×100 1/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,06. Тираж 5000 экз. Заказ 1588.

ООО «Издательство «За рулем»
107045, Москва, Селивёрстов пер., д. 10, стр. 1
Для писем: 107150, Москва, 5-й проезд Подбельского, д. 4а
<http://www.zr.ru/corp/books>
Реализация, тел.: (499) 267-30-65, 361-71-81
<http://shop.zr.ru>



Отпечатано в ОАО «Можайский полиграфический комбинат»
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93
www.oaompk.ru, www.oaompk.rf тел.: (495) 745-84-28, (49638) 20-685



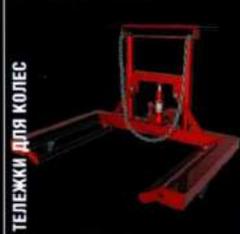
НАБОРЫ ИНСТРУМЕНТА



ВИДЕОЭНДОСКОПЫ



ВЫТЯЖНЫЕ СИСТЕМЫ



ТЕЛЕЖКИ ДЛЯ КОЛЕС



ЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА



ПУСКОЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА



ШИНОМОНТАЖНЫЕ СТЕНДЫ



БАЛАНСИРОВочные СТЕНДЫ

**ВСЕ ТЕСТЫ
ПРОЙДЕНЫ**



8 (800) 333-40-40
бесплатный звонок на территории России
www.sorokin.ru



МЕБЕЛЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ