



## РАБОТА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ И ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

### ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ:



По завершении изучения и повторения пройденного материала вы должны быть готовыми:

- Приступить к пробному решению тестовых задач блока А9 «*Light Vehicle Diesel Engines* = Дизельные двигатели легковых автомобилей и легких грузовиков» в части раздела Е «*Air Induction and Exhaust Systems. Diagnosis and Repair* = Диагностика и ремонт систем топливного и воздушного снабжения, и системы выпуска отработавших газов.
- Объяснить принцип работы дизельного двигателя.
- Описать разницу между непосредственным (прямым) впрыском (*DI*) и непрямым впрыском (*IDI*) топлива в дизельных двигателях.
- Перечислить основные части топливной системы типичного дизельного двигателя.
- Объяснить принцип работы свечей накаливания.
- Перечислить преимущества и недостатки дизельных двигателей.

### ПРЕДИСЛОВИЕ

Вы приступаете к изучению очень сложной главы, материалы которой ознакомят Вас с конструкцией современных автомобилей, оснащенных дизельными двигателями, системами, позволяющими улучшить эксплуатационные показатели двигателя и его экологические показатели.

Ограничения по объему учебника, и времени, отведенного на изучение материалов этой главы, не позволяют разместить в одной главе описание разнообразных систем как электронного, так и механического управления приборами топливоподачи. Вашему вниманию будет представлен материал, описывающий системы управления дизельным двигателем, которые ещё долгое время будут встречаться Вам в работе по обслуживанию транспортных средств, оснащенных дизельными двигателями. Эти материалы будут размещены на страницах электронного журнала «Автоспециалист+», и рекомендованы для самостоятельного изучения. Структура учебных материалов, рекомендованных для самостоятельного изучения, схожа со структурой учебных материалов, предназначенных для аудиторного изучения. Вы будете знакомиться с теоретическим материалом, Вам будут представлены тестовые задания для закрепления учебного материала.

Принцип подбора материалов для учебника построен по схеме:

Этот материал требует пояснений со стороны преподавателя;

Этот материал является наиболее актуальным на момент написания главы;

Незнание приведенного в учебнике материала может повлечь повреждение обслуживаемого автомобиля и оборудования мастерской;

На основе материалов, приведенных в учебнике, преподаватели должны подготовить учебные пособия для проведения практических занятий, как в учебных мастерских, так и на учебных лабораториях производства.

Автор учебника прекрасно понимает, что выпускник колледжа не сможет без соответствующей подготовки на курсах повышения квалификации приступить к самостоятельному обслуживанию современных автомобилей, оснащенных дизельными двигателями. Знаний, которые Вы сможете получить в колледже, недостаточно для решения тестовых заданий блока А8 «*Engine Performance* = Эксплуатационные характеристики двигателей», и блока А9 «*Light Vehicle Diesel Engines* = Дизельные двигатели легких транспортных средств», и получения сертификата для допуска к работе в этом направлении деятельности. Но базовые сведения, которые лягут в основу Вашего повышения квалификации, Вы сможете получить в колледже.

Колледж должен строить программы подготовки, опираясь на заявки работодателей, мы же, авторы-составители учебных пособий, должны подготовить для Вас и педагогических работников колледжей учебных материалов, содержание которых по возможности полнее отвечало запросам работодателей.

## ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В 1892 году немецкий инженер Рудольф Дизель усовершенствовал двигатель с воспламенением от сжатия, который получил его имя. Дизельный двигатель использует теплоту, возникающую при сжатии воздуха, для воспламенения топлива. Это позволяет в дизельном двигателе не применять электроискровую систему зажигания. Для работы дизельного двигателя требуется степень сжатия 16:1, или выше. При высокой степени сжатия поступивший в цилиндр свежий воздух сжимается до такой степени, пока его температура не превысит температуру воспламенения топлива 540°C (1000°F).

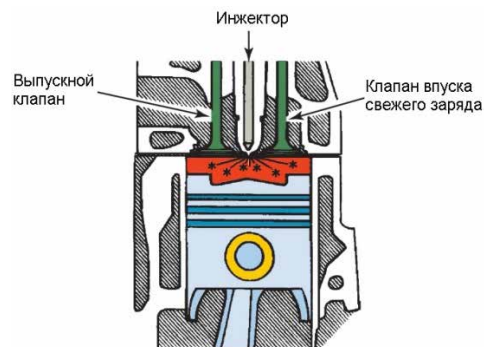


Рисунок 19-1: Процесс воспламенения и сгорания топлива происходит при его впрыскивании в камеру сгорания, заполненной сжатым горячим воздухом; источник: Pearson Education, Inc.

Процесс нагрева свежего заряда при его сжатии носит название теплоты от сжатия. В тот момент, когда поршень приближается к верхней мертвой точке (ВМТ) такта сжатия, производится впрыскивание топлива в цилиндр двигателя, где топливо воспламеняется от теплоты воздуха.

При горении топлива происходит выделение большого количества теплоты, что, в свою очередь, вызывает быстрый рост давления в камере сгорания. Возникающее давление горящих газов продуцирует механическую энергию. Высокая степень сжатия и большой крутящий момент на выходе из дизельного двигателя, делает двигатель массивнее, но и сильнее, чем бензиновый двигатель того же размера. В дизельном двигателе используется топливная система, оснащенная изготовленным с высокой точностью впрыскивающим насосом и индивидуальными топливными форсунками (инжекторами) для каждого из цилиндров двигателя. Насос подает точно отмеренное (дозированное) количество топлива к топливным форсункам под высоким давлением и через заданные временные интервалы. Каждая из форсунок должна впрыснуть топливо в цилиндр в момент, позволяющий получить наивысшую эффективность сгорания топлива.

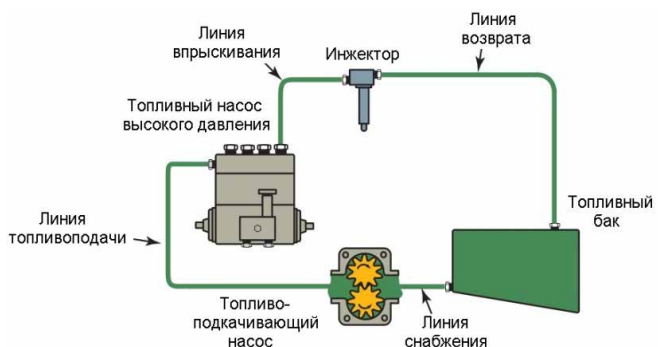


Рисунок 19-2: Типичная система впрыскивания дизельного топлива, оснащенная рядным топливным насосом высокого давления (ТНВД); источник: *Pearson Education, Inc.*

## ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Дизельный двигатель в сравнении с бензиновым двигателем того же размера обладает рядом преимуществ, в том числе:

1. Большим выходным крутящим моментом.
2. Более высокой топливной экономичностью.
3. Длительным сроком службы

В сравнении с бензиновым двигателем того же размера, дизельный двигатель обладает рядом существенных недостатков:

1. Повышенной шумностью работы, особенно при работе холодного двигателя, или на режиме холостого хода.
2. Специфическим запахом выхлопного газа.
3. Затрудненным запуском в холодное время года.
4. Необходимость доукомплектования автомобиля вакуумным насосом, который необходим для обеспечения усиления в приводе тормозов, а также для обеспечения вакуумом

исполнительных механизмов в системах отопления, вентиляции, кондиционирования и иных систем управления, использующих вакуумный привод.

5. Увеличенным весом по сравнению с бензиновым двигателем того же рабочего объема.
6. Высокими требованиями к качеству топлива.
7. Дополнительными эксплуатационными затратами в сравнении с бензиновым двигателем.

## УСТРОЙСТВО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Из-за высокой степени сжатия, необходимой для обеспечения работы дизельного двигателя, его детали испытывают высокое давление горящих газов, которое создается во время работы двигателя.

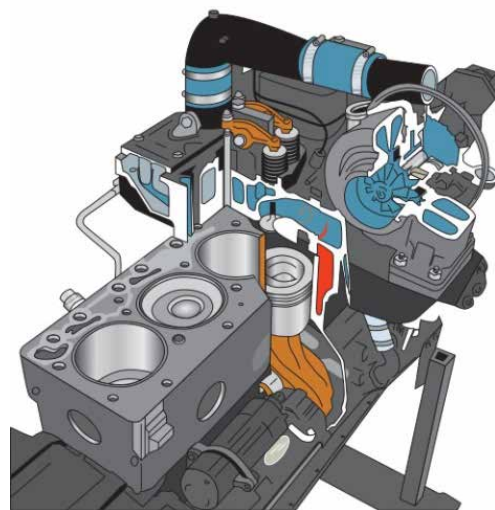


Рисунок 19-3: Частичный разрез дизельного двигателя *Cummins*, используемого на Dodge-пикапе. Насос высокого давления (до 2110 кг/см<sup>2</sup>) используется для подачи дизельного топлива к центральному распределителю *Common Rail*, который имеет трубопроводы, идущие к каждой из форсунок. Обратите внимание на толстые стенки цилиндра и сверхпрочную конструкцию шатуна; источник: *Pearson Education, Inc.*

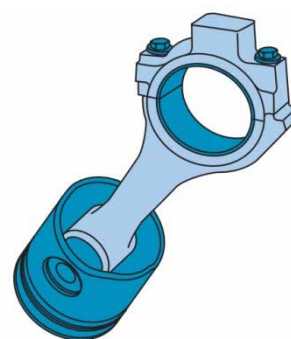


Рисунок 19-4: Поршень в сборе с шатуном 5,9-литрового дизельного двигателя *Cummins* автомобиля *Dodge Pick-up*; источник: *Pearson Education, Inc.*

Таблица 19.1: Сравнение между типичным бензиновым двигателем и дизельным двигателем.

СИСТЕМА ИЛИ КОМПОНЕНТ	ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	БЕНЗИНОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ
Блок цилиндров	Чугунный и массивный (см. рис. 19-3).	Более легкий чугунный или алюминиевый.
Головка цилиндра	Чугунная или алюминиевая	Чугунная или алюминиевая
Степень сжатия	От 17:1 до 25:1	От 8:1 до 12:1
Максимально допустимая частота вращения	От 2000 до 2500 мин <sup>-1</sup> (об/мин)	От 5000 до 8000 мин <sup>-1</sup> (об/мин)
Поршни	Алюминиевые с камерой сгорания в головке поршня, и усолненным поршневым пальцем и шатуном (см. рис. 19-4).	Алюминиевые, как правило, с плоской головкой или углублениями для клапанов, но без камеры сгорания в поршне.

Выходной крутящий момент, формируемый дизельным двигателем вдвое и более крутящего момента, формируемого бензиновым двигателем того же рабочего объема.

### ТОПЛИВОВОЗДУШНОЕ СООТНОШЕНИЕ

В дизельном двигателе воздух на впуске не регулируется дроссельной заслонкой, как это производится у бензиновых или газо-топливных двигателей, регулирование в которых производится количеством вводимой в цилиндр топливовоздушной смеси. Вместо этого в дизельном двигателе применяется качественное регулирование, то есть выпуск воздуха в цилиндр двигателя не ограничивается, но регулируется количество топлива, впрыскиваемого в цилиндр двигателя.



#### **РЕМАРКА:**

Количественное регулирование мощности двигателя – регулирование мощности за счет изменения количества топливно-воздушного смеси (свежего заряда). Качественное регулирование мощности двигателя – регулирование мощности за счет изменения количества вводимого в воздух топлива при неизменном количестве впускаемого воздуха (коэффициента избытка воздуха).



#### **РЕМАРКА:**

Пары бензина способны воспламениться и гореть без подвода внешней теплоты только в узком диапазоне качественного состава смеси: от 8,5 :1 до 16:1.

Качественный состав смеси – это пропорциональное отношение массового количества воздуха к массовому количеству паров топлива. Идеальный состав бензиново-воздушной смеси представляет собой смесь 1 массовой части (допустим, 1 кг) топлива к 14,7

массовым долям воздуха (допустим, 14,7 кг). Такой состав смеси называют стехиометрическим (стехиометрический состав горючей смеси (от др.-греч. στοιχείον — основа, элемент и метрῶν — измеряю) — состав смеси, в которой окислителя ровно столько, сколько необходимо для полного окисления горючего).

Смесь с пропорциональным составом 12,5:1 является богатой смесью, то есть в этой смеси топлива больше, чем

может сгореть. Смесь составом 19,1:1 – бедная смесь, то есть в этой смеси топлива меньше, чем могло бы сгореть. Описательной характеристикой состава горючей смеси является так называемый коэффициент избытка воздуха. Коэффициент избытка воздуха – это отношение действительного количества воздуха, находящегося в составе реальной смеси, к стехиометрическому составу смеси. Этот коэффициент принято обозначать греческой буквой лямбда  $\lambda$ .

Для стехиометрического состава смеси  $\lambda = 1,0$  (действительное количество воздуха в смеси 14,7 кг, стехиометрическое количество воздуха = 14,7 кг. Отсюда:  $14,7/14,7 = 1,0$ )

Богатая смесь имеет коэффициент избытка воздуха меньше 1,0. Так смесь с составом 12,5:1 будет иметь коэффициент избытка воздуха  $\lambda = 12,5/14,7 = 0,85$ , а смесь с составом 19,1:1 будет иметь коэффициент избытка воздуха  $\lambda = 19,1/14,7 = 1,30$ . В диапазоне от  $0,85 < \lambda < 1,30$  горючая смесь может быть воспламенена посредством электрического искрового разряда. Если смесь богаче, чем  $\lambda = 0,85$ , она не способна к воспламенению. Такова физико-химическая природа бензина. «Залило свечи» – это и есть то описание состояния топливовоздушной смеси, при котором подаваемое топливо не воспламеняется, и конденсируется на стенках камеры сгорания, в том числе на электродах свечи. Если происходит подсос воздуха в цилиндр или во все цилиндры двигателя, а блок управления двигателем это количество воздуха не учитывает, топливовоздушная смесь обедняется, и происходят «пропуски воспламенения».

Состав топливно-воздушной смеси в дизельном двигателе может колебаться в широких диапазонах: от 85:1 ( $\lambda = 5,78$ ) на режиме холостого хода до 20:1 ( $\lambda = 1,36$ ) на полной нагрузке. Мы видим, что на любых эксплуатационных режимах дизельный двигатель работает на бедной смеси (топлива меньше, чем могло бы сгореть). Это делает дизельный двигатель более экономичным, чем бензиновый или газо-топливный двигатель, поскольку физико-химическая природа дизельного топлива позволяет воспламенить в цилиндре двигателя любое, самое ничтожное количество топлива. Бензин не обладает такими замечательными свойствами.

Бензиновый двигатель страдает от так называемых дросселирующих потерь, поскольку смесь в цилиндр двигателя

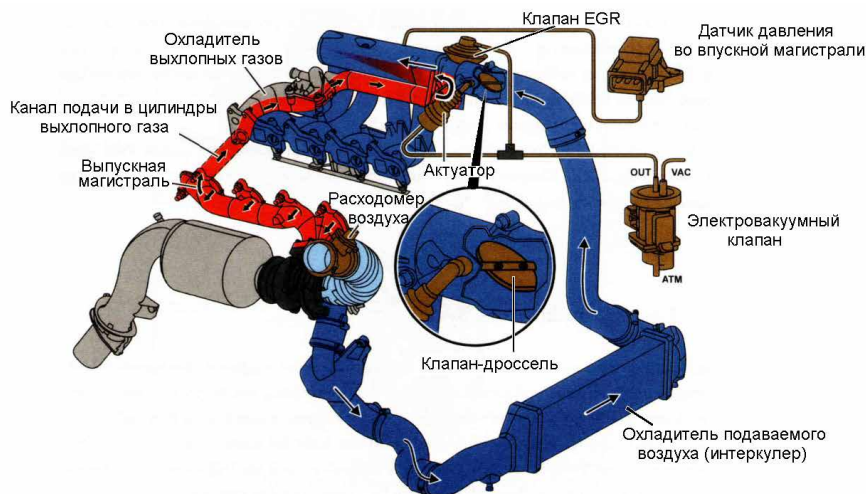
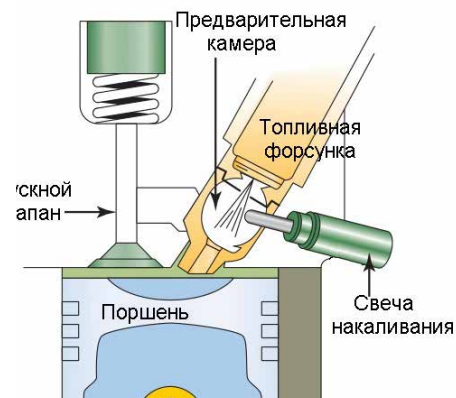


Рисунок 19-5: Система рециркуляции выхлопного газа (*Exhaust Gas Regulator = EGR*) в дизельных двигателях с газотурбинным наддувом для впуска отработавших газов во впускную магистраль, часто снабжены дроссельной заслонкой (клапаном-дросселем), которая не является акселератором; источник: *Robert Bosch*

втягивается через закрытую, или частично открытую дроссельную заслонку (клапан-дроссель). В бензиновом двигателе и скорость вращения, и мощность контролируются клапаном-дросселем (дроссельной заслонкой, связанной с педалью газа – акселератором), который управляет количеством горючей смеси, поступающей в цилиндры двигателя. Если в состав бензиново-воздушной смеси добавлять количество бензина, при этом не увеличивать подачу воздуха, это не приведет ни к увеличению скорости вращения коленчатого вала, ни к получению дополнительной мощности. В дизельном двигателе скорость вращения коленчатого вала и мощность двигателя не регулируются путем изменения количества рабочей смеси, поступившей в цилиндры, так как воздушный тракт всегда остается открытым на максимально возможную величину проходного сечения. Таким образом, дизельный двигатель всегда обладает необходимым для сжигания топлива количеством воздуха, а регулирование скорости вращения и мощности осуществляется подачей дополнительного топлива в цилиндры.

Рисунок 19-6: При непрямом впрыске дизельного топлива используется предкамера (форкамера), в которую вставлены распылитель форсунки и свеча накаливания; источник: *Pearson Education, Inc.*



Все дизельные двигатели с непрямым впрыскиванием топлива используют электрическую свечу накаливания, которая позволяет начать процесс воспламенения топливовоздушной смеси. В дизельном двигателе с непосредственным впрыскиванием топлива (аббревиатура *DI*) топливо впрыскивается прямо в цилиндр. В поршне выполнено углубление, где происходит воспламенение и начальное горение топлива.



**РЕМАРКА:**

Многие современные дизельные двигатели оснащены дроссельной заслонкой. Эта заслонка предназначена для регулирования количества вредных веществ в выхлопных газах, но никак не для регулирования скорости и мощности двигателя (см. рис. 19-5).

**НЕПРЯМОЙ (КОСВЕННЫЙ) И НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ ВПРЫСК ТОПЛИВА**

При непрямом (косвенном) впрыске топлива (аббревиатура *IDI*) в дизельном двигателе, топливо подается в небольшую предварительную камеру сгорания, которая соединена с цилиндром двигателя узким щелевым каналом. Воспламенение и предварительное горение топлива происходит в этой камере, которая называется предкамерой или форкамерой. Это позволяет получить эффект замедления воспламенения и горения топлива, что значительно снижает шумность работы дизельного двигателя.

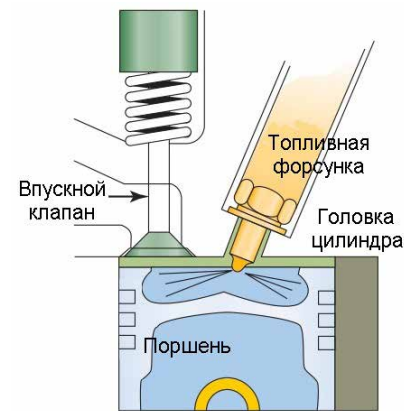


Рисунок 19-7: Двигатели с непосредственным впрыскиванием топлива используют форсунку, впрыскивающую топливо в камеру сгорания, выполненную в поршне. Многие двигатели с непосредственным впрыскиванием не используют свечи накаливания; источник: *Pearson Education, Inc.*

Дизельные двигатели с непосредственным впрыскиванием топлива обладают большей эффективностью в сравнении с двигателями с непрямым (косвенным) впрыскиванием, но эти двигатели производят больше шума. В тот время как ряд двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива используют свечи накаливания, кото-

рые включают как при пуске холодного двигателя, так и во время работы двигателя для снижения эмиссии вредных веществ с выхлопными газами. Ряд производителей двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива не применяют свечи накаливания.

## ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Воспламенение топлива в дизельном двигателе происходит при соприкосновении распыленного топлива с горячим воздухом, нагретым до температуры, большей температуры воспламенения топлива  $540^{\circ}\text{C}$  ( $1000^{\circ}\text{F}$ ), в результате сжатия в цилиндре двигателя. Химическая энергия, высвобождаемая при горении топлива, вызывает рост давления газов в цилиндре двигателя. Горячие газы действуют на поршень, заставляя его вращать коленчатый вал двигателя. Четырехтактный дизельный двигатель совершает два полных оборота коленчатого вала для завершения полного цикла.

На такте всасывания поршень движется из верхней мертвой точки (ВМТ) в нижнюю мертвую точку, при этом впускной клапан/клапаны уже должен открыться, а выпускной клапан/клапаны пока не закрыт. Это необходимо для полного выхода выхлопного газа, не успевшего покинуть цилиндр во время предыдущего цикла, и проветривания камеры сгорания воздухом свежего заряда. Газообмен в цилиндре, при нахождении поршня вблизи ВМТ, происходит за счет сил инерции потока выхлопного газа. Впускной и выпускной клапан/клапаны во время нахождения поршня в ВМТ открыты, и это положение, которое длится непродолжительное время, называется «моментом (углом) перекрытия клапанов».

После достижения поршнем нижней мертвой точки (НМТ) впускной клапан остается открытым непродолжительное время, достаточное для «дозарядки» цилиндра свежим зарядом, опять же за счет инерции потока движущихся во впускном трубопроводе газа. Фактическая продолжительность такта сжатия несколько меньше геометрической продолжительностью такта сжатия, поскольку сжатие свежего заряда происходит только после закрытия впускного клапана и до момента достижения поршнем ВМТ.

Впрыскивание топлива в цилиндр двигателя происходит раньше, чем поршень достигнет ВМТ. Это обстоятельство продиктовано длительностью, так называемого, подготовительного периода, во время которого топливо, впрыскиваемое через распылитель форсунки, успевает испариться при контакте с горячим воздухом, и перемешаться с ним. Первые очаги воспламенения впрыскиваемого топлива появляются ещё на такте сжатия, но основное горение, и, как следствие, повышение давления горящих газов в цилиндре двигателя, должно произойти после преодоления поршнем ВМТ. Химическая энергия, высвобождаемая при горении топлива, повышает температуру газов в цилиндре двигателя, и вызывает быстрый рост давления. Горячие газы заставляют поршень двигаться из ВМТ в НМТ, совершая рабочий ход, во время которого поршень вынуждает коленчатый вал вращаться.

После завершения рабочего хода должен наступить такт выпуска отработавших газов. Геометрически такт выпуска

должен длиться при ходе поршня из НМТ в ВМТ, однако выпускной клапан открывается раньше, ещё на такте рабочего хода. Это необходимо для лучшей очистки цилиндра, поскольку газы в позиции поршня, близкой к НМТ, уже не способны производить какую-либо полезную работу.

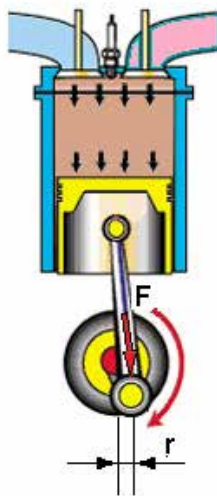


Рисунок 19-8: Вблизи НМТ плечо  $r$  силы  $F$  невелико, поэтому формируемый крутящий момент вблизи НМТ невелик, которым можно пренебречь в пользу лучшей очистки цилиндра от выхлопных газов, открыв выпускной клапан на такте рабочего хода.

Такт выпуска продолжается во время всего хода поршня из НМТ в ВМТ, вытесняя отработавшие газы из цилиндра двигателя. Достигнув ВМТ, поршень завершает полный цикл перемещений, состоящий из четырех последовательных тактов.

## ТРИ ФАЗЫ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Горение топлива в цилиндре дизельного двигателя можно условно разделить на три этапа.

### 1. Задержка воспламенения.

Близко к окончанию такта сжатия производится впрыскивание топлива в цилиндр двигателя, однако мгновенного воспламенения топлива не происходит. Этот период времени назван задержкой воспламенения.

### 2. Быстрое распространение горения.

Эта фаза горения топлива характеризуется быстрым распространением фронта пламени, сопровождаемая быстрым ростом давления горящих газов. Именно это быстрое повышение давления в камере сгорания вызывает отчетливый, хорошо слышимый стук работы дизельного двигателя.

### 3. Контролируемое сгорание.

После этой фазы быстрого распространения фронта пламени, сопровождаемого быстрым ростом давления, наступает фаза контролируемого сгорания, которая характеризуется продолжающейся подачей топлива через распылитель форсунки. Эта порция топлива сгорает вблизи форсунки при соприкосновении с разогретым во время предыдущей фазы горения топлива воздухом. Эффективность и качество процесса горения топлива на этой фазе зависит от скорости вихревого движения газов в цилиндре двигателя, и дальности форсунки, способной доставить очередные порции топлива в отдаленные от распылителя зоны камеры сгорания.

## ТОПЛИВНЫЙ БАК И ТОПЛИВОПОДКАЧИВАЮЩИЙ НАСОС

### КОМПОНЕНТЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ

Топливный бак, используемый на транспортном средстве, оборудованном дизельным двигателем, имеет некоторые отличия от баков, используемых на автомобилях с бензиновым двигателем. Отличия заключаются в следующем:

Заливная горловина топливного бака, предназначенного для хранения дизельного топлива, имеет диаметр 24 мм – больший, чем у топливного бака для хранения бензина (21 мм). Заливные горловины топливных баков грузовых автомобилей имеют диаметр горловины от 32 до 38 мм. Это позволяет ускорить процесс заправки автомобиля.

Дизельное топливо не столь летуче, как бензин, поэтому топливный бак не имеет подключения к системе вентиляции топливного бака, ставшей непременным атрибутом бензинового автомобиля.



Рисунок 19-9: Тестирование датчика температуры топлива с использованием ледяной бани; источник: Pearson Education, Inc.

Дизельное топливо, как правило, всасывается из топливного бака специальным топливоподкачивающим насосом, который выбирает топливо из бака, прогоняет его через фильтры грубой и тонкой очистки, и доставляет его к топливному насосу высокого давления. Между топливным баком и фильтром тонкой очистки топлива в современных автомобилях часто устанавливают водо-отделяющий сепаратор. Вода тяжелее дизельного топлива, и она оседает на дно сепаратора. Очистка сепаратора от скопившейся влаги является неотъемлемой частью технического обслуживания автомобиля, оснащенного дизельным двигателем. Часто внутри сепаратора устанавливают поплавков, соединенный с контактами цепи сигнальной лампы, указывающий водителю на необходимость произвести слив воды из сепаратора. В ряде случаев водный сепаратор является частью топливного фильтра в сборе.

И топливный фильтр, и водо-отделитель являются компонентами, которые нельзя оставить без внимания при очередном предупредительном техническом обслуживании.



### РЕМАРКА:

Вода является нежелательной, но неотъемлемой составной частью дизельного топлива. Вода вызывает коррозию деталей аппаратуры топливной системы дизельного двигателя, поскольку вода способна разрушить тонкую пленку

смазывающего вещества, входящего в состав дизельного топлива. Вода, попавшая в распылитель форсунки, может вызвать его разрушение.

Многие дизельные двигатели оснащены датчиком температуры топлива. Компьютер использует эту информацию для коррекции объема подаваемого топлива в зависимости от его плотности.

## ТОПЛИВНЫЙ НАСОС ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

### НАЗНАЧЕНИЕ НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Топливный насос высокого давления предназначен для увеличения давления топлива, поступающего из топливоподкачивающего насоса, до уровня, необходимого для открытия форсунки, и качественного распыления топлива через форсунку.

Топливоподкачивающий насос является насосом низкого давления, но высокой объемной подачи топлива.

Топливный насос высокого давления является насосом высокого давления, но малой объемной подачи топлива.

Топливный насос высокого давления, имеет шестеренчатый привод или привод зубчатым ремнем, совместный с приводом распределительного вала, и расположенный в передней части двигателя. При вращении распределительного кулачкового вала топливного насоса топливо подается из каналов низкого давления к секциям, создающим высокое давление топлива.

Если на дизельном двигателе применяется топливный насос высокого давления распределительного типа, топливо подается от единой секции, создающей высокое давление, через распределительный узел к форсункам по топливным линиям высокого давления.

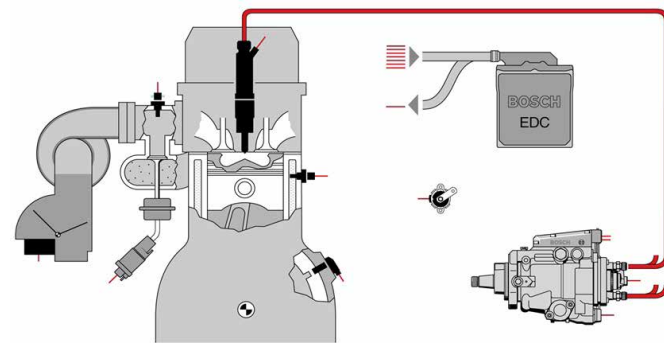


Рисунок 19-10: Принципиальная схема управления дизельным двигателем, оснащенным топливным насосом высокого давления распределительного; источник: Robert Bosch



### РЕМАРКА:

Поскольку в топливной аппаратуре дизельных двигателей используются прецизионные детали, даже незначительное количество загрязнений может вызвать серьезную поломку агрегатов топливной системы высокого давления.

## ТОПЛИВНЫЙ НАСОС ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ТИПА

Топливный насос высокого давления распределительного типа представляет собой агрегат, включающий в свой состав: объединенный насосный узел высокого давления, распределитель топлива по цилиндрам, и штуцеры для подключения линий высокого давления обеспечивающих топливом каждую из 4...6 отдельных форсунок для каждого из 4...6 цилиндров двигателя.

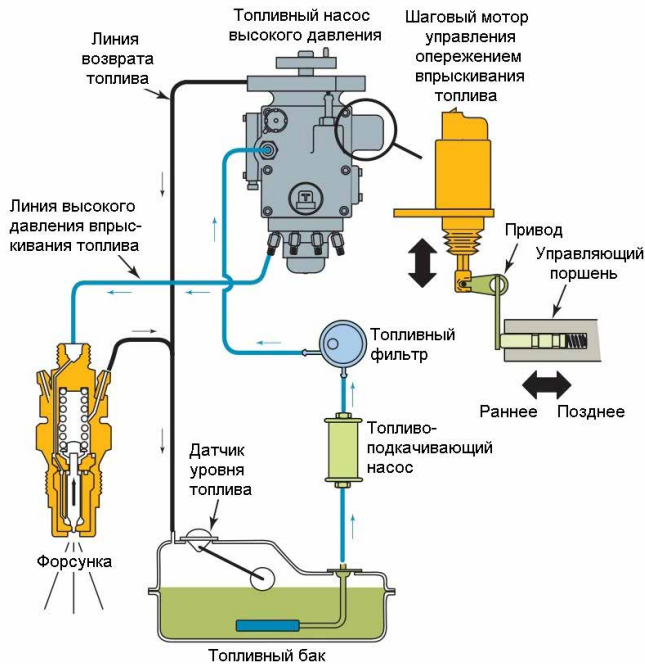


Рисунок 19-11: Схема топливopодающей системы дизельного двигателя с указанием каждого из компонентов системы; источник: *Pearson Education, Inc.*

Для обеспечения точности моментов впрыскивания топлива по различным цилиндрам линии высокого давления, соединяющие выходные штуцеры ТНВД с форсунками должны быть одинаковой длины. Высокое давление топлива необходимо для того, чтобы открыть гидравлический запор распылителя форсунки для прохода топлива.

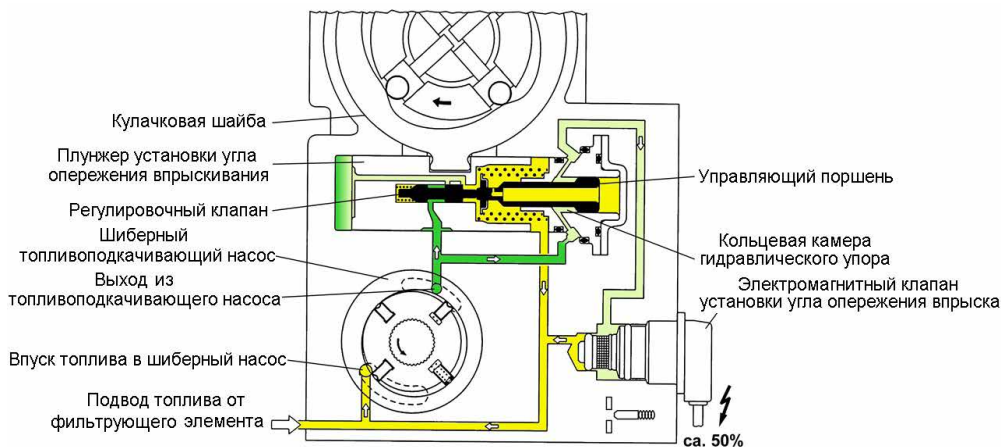


Рисунок 19-12: Корректирующее устройство, позволяющее качественно регулировать момент впрыскивания топлива с учетом скорости вращения, нагрузки и температуры топлива укомплектовано тактовым электромагнитным клапаном; источник: *Robert Bosch*

Из-за гидравлического сопротивления (внутреннего трения) в линиях высокого давления высокое давление топлива открывает форсунку с некоторым запаздыванием. Для компенсации этого запаздывания впрыскивания, и коррекции времени впрыскивания топлива по оборотам двигателя, топливный насос высокого давления укомплектован механизмом опережения впрыскивания, который в ТНВД распределительного типа представляет собой управляемый давлением подвижный узел, производящий сдвиг начала впрыскивания в сторону опережения при увеличении скорости вращения коленчатого вала двигателя.



### РЕМАРКА:

Топливоподающие линии высокого давления во время инъекции (впрыскивания топлива) расширяются, увеличивая внутренний диаметр. Это позволяет точно определить момент впрыскивания топлива. Пульсация трубопровода высокого давления позволяет применить стробоскоп для соотнесения момента начала топливоподачи с позицией коленчатого вала подобно тому, как производится проверка угла опережения зажигания на бензиновых двигателях.

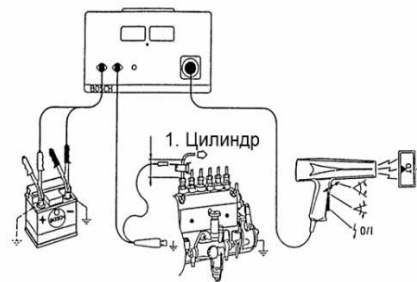


Рисунок 19-13: Применение стробоскопа и пьезоэлектрического датчика позволяет проверить угол опережения впрыскивания топлива на работающем двигателе.

## АККУМУЛЯТОРНАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ COMMON RAIL

Современные дизельные двигатели используют систему электронного управления впрыскиванием топлива, известную как *High-Pressure Common Rail (HPCR)* = Аккумуляторная система высокого давления *Common Rail*.

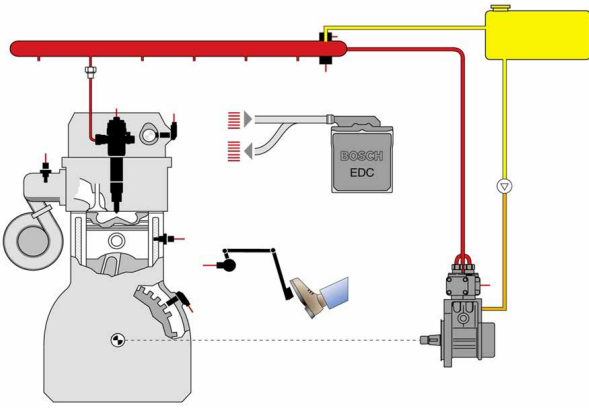


Рисунок 19-14: Принципиальная схема аккумуляторной системы высокого давления Common Rail; источник: Robert Bosch

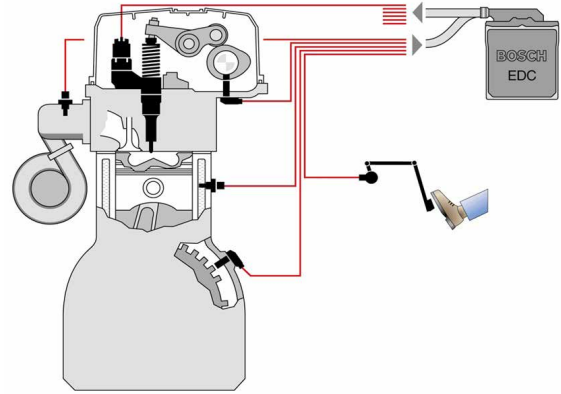
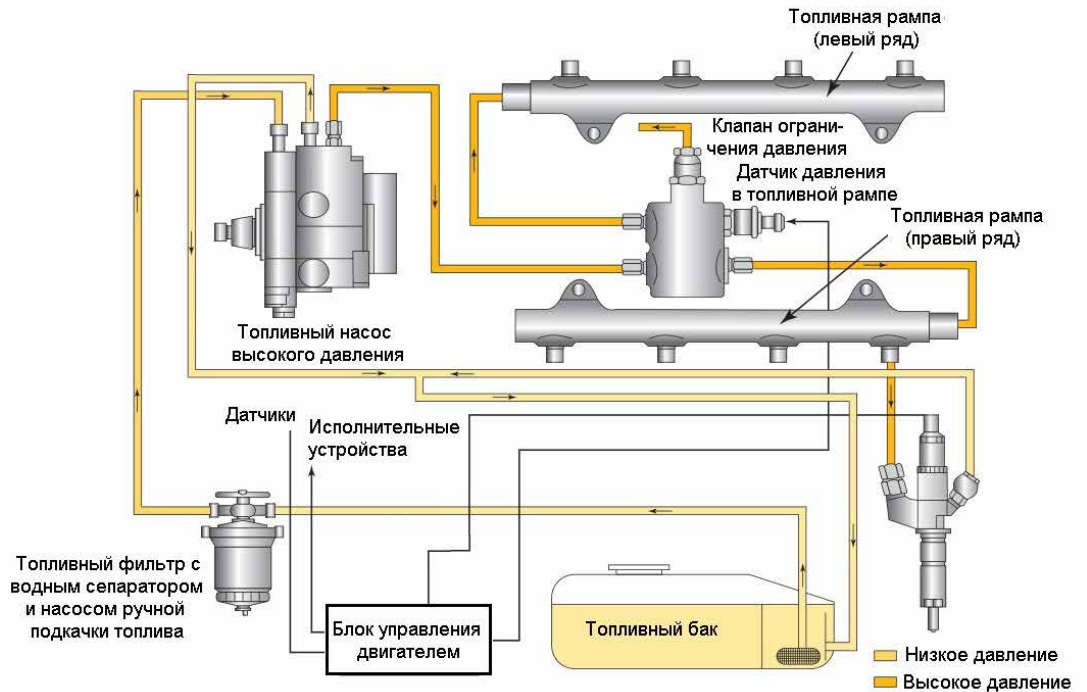


Рисунок 19-16: Принципиальная схема системы электронного управления двигателя, оснащенного насос-форсунками; источник: Robert Bosch

Рисунок 19-15: Принципиальная схема системы электронного управления впрыскиванием Common Rail дизельного двигателя V-8; источник: Pearson Education, Inc.



Дизельное топливо под высоким давлением, составляющим от 135 МПа (1350 кг/см<sup>2</sup> – I поколение) до 250 МПа (2500 кг/см<sup>2</sup> IV поколение), создаваемое топливным насосом высокого давления (ТНВД), направляется к инжекторам, управление которых осуществляется электромагнитным клапаном (I, II и IV поколения) или пьезокристаллом (III поколение).

Электронное управление впрыскиванием топлива позволяет точно контролировать процесс воспламенения и горения топлива, обеспечивая наибольшую эффективность работы дизеля с наименьшим уровнем шума и эмиссии вредных веществ с выхлопными газами.

## СИСТЕМА ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ С НАСОС-ФОРСУНКАМИ

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Одним из вариантов электронных систем управления впрыскиванием, нашедших широкое применение в начале XXI века, является так называемая *Hydraulic Electronic Unit Injection System*, или *HEUI* система. В Европе подобная система известна, как *Unit Injection System (UIS)* = по-русски это звучит, как «Насос-форсунка».



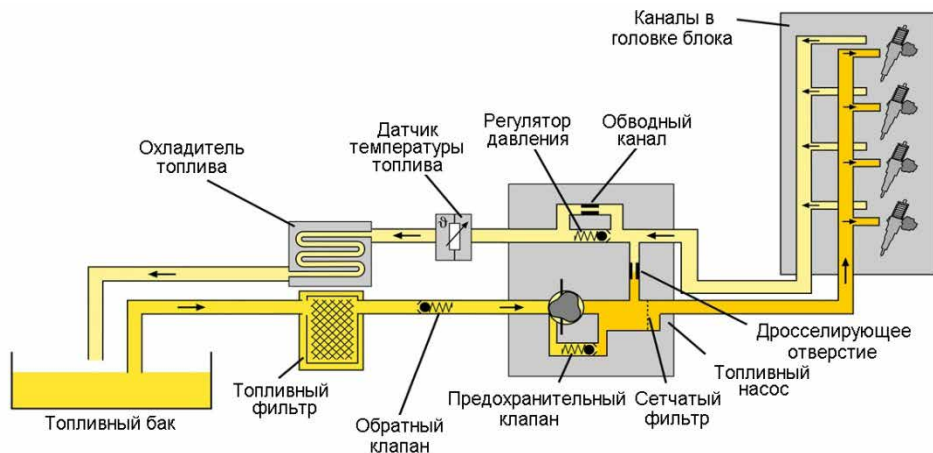


Рисунок 19-17: Гидравлическая схема системы топливоподачи электронной системы UIS; источник: VW-Audi

Используемые системой электронного управления UIS компоненты показаны на схеме (см. рис. 19-17). Ниже кратко приведена задача каждого из компонентов, если их название не говорит само за себя:

- Резервуар для хранения топлива
- Охладитель топлива, который предназначен для защиты топливного бака и датчика уровня топлива от перегрева.
- Регулирующий клапан, установленный на сливном трубопроводе, который поддерживает давление в линии обратного слива топлива на уровне  $1 \text{ кг/см}^2$ . Это гарантирует стабильное соотношение сил на гидравлическом затворе электромагнитного клапана насоса-форсунки.
- Обводной канал (*Bypass*), позволяющий топливу поступить в сливной канал головки блока при остановке двигателя и снижения его температуры. Без обводного канала не будет происходить обратного поступления топлива, поскольку регулирующий клапан не может открываться для прохода топлива в обратном направлении.
- Дросселирующее отверстие, служащее для удаления воздушных пузырьков из внутреннего контура топливоподающего насоса.
- Сетчатый фильтр, который отделяет пузырьки воздуха от топлива, удаляемого через дросселирующее отверстие в сливную магистраль.
- Предохранительный клапан, который открывается при достижении топливом давления  $7,5 \text{ кг/см}^2$ , и служит для предотвращения поломки насоса от гидравлического удара.
- Обратный клапан, который обеспечивает поддержку давления во всасывающей магистрали на уровне, приблизительно  $0,2 \text{ кг/см}^2$ , что предотвращает утечку топлива из насоса в бак.
- Топливный фильтр.
- Топливные каналы, выполненные в теле головки блока цилиндров, и служащие для подачи топлива к форсунки и отвода излишков топлива от форсунок.

## ПРИНЦИП РАБОТЫ

Топливо в питающем канале находится под давлением, достаточным для открытия гидравлического затвора электромагнитного клапана управления насос-форсункой по команде электронного блока управления дизельным двигателем (*EDC*).

Система функционирует следующим образом: Топливо за счет разрежения, создаваемого двухкамерным насосом, просачивается через фильтр, водный сепаратор (если установлен), и подается в линию подвода топлива, которая выполнена в головке блока в виде распределительной магистрали, омываемой встречно движущимся топливом, идущим на слив. Такая схема движения топлива позволяет топливу, поступающему к каждой насос-форсунке, нагреться до одинаковой температуры. Затем топливо поступает в насос-форсунку через множество микроскопических отверстий, играющих роль дополнительного фильтра (см. рис. 19-18).

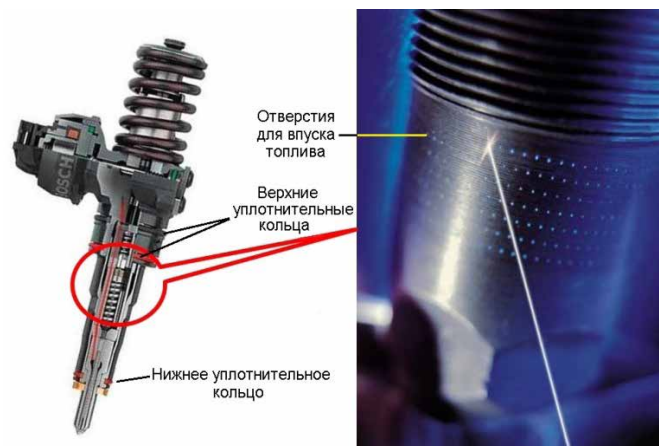


Рисунок 19-18: Сливная и топливоподающая магистраль, выполненные в головке блока цилиндров, изолированы уплотнительными кольцами; источник: Robert Bosch

Количество и начало впрыскивания топлива регулируется по команде блока управления дизельным двигателем (*Electronic Diesel Control = EDC*) на основе информации, полученной от датчиков.

Насос форсунки не имеют внешних топливопроводов, и изолирование топливопроводов, проложенных в теле головки блока, производится уплотнительными кольцами круглого сечения. Повреждение уплотнительных колец приводит к утечке топлива, вызывая проблемы с производительностью или поломкой двигателя.

Насос-форсунка снабжена пятью уплотнительными кольцами.

- Три внешних уплотнительных кольца следует заменить на новые кольца при каждом демонтаже форсунок, или если есть подозрение их повреждения.
- Два внутренних уплотнительных кольца не подлежат замене в условиях авторемонтной мастерской, поэтому замене подлежит насос-форсунка.

Наиболее характерными симптомами повреждения уплотнительных колец включают в себя:

- Попадание смазочного масла в топливо;
- Топливный фильтр принимает черный оттенок;
- Длительное вращение коленчатого вала двигателя перед началом работы двигателя;
- Инертность в работе двигателя;
- Снижение мощности двигателя;
- Повышенный расход смазочного масла (это часто сопровождается проблемами с уплотнительными кольцами, или иными проблемами, позволяющими маслу попадать в топливо).



### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:**

**Никогда не позволяйте двигателю останавливаться из-за недостатка топлива.**

Если в баке автомобиля, укомплектованном бензиновым двигателем, закончится топливо, это не нанесет серьезного ущерба двигателю и топливной аппаратуре бензинового двигателя. Залив топлива в бак водитель без труда запустит двигатель, и продолжит поездку. Однако в автомобиле с дизельным двигателем прекращение подачи топлива может вызвать серьезные затруднения. Помимо пополнения топливного бака топливом водителю предстоит удалить воздух из всей системы топливоподачи дизельного двигателя. Только после проведения достаточно сложных операций по удалению воздуха двигатель сможет работать без перебоев.

Как правило, современные автомобили с дизельным двигателем не оснащаются ручным прокачивающим топливо насосом, поэтому удаление воздуха из системы производится путем длительной прокрутки коленчатого вала двигателя стартером. Не следует производить длительную прокрутку двигателя стартером, поскольку можно перегреть его, и вывести из строя электромотор стартера.

Никогда не полагайтесь на собственный опыт, лучше проконсультируйтесь в сервисной службе о содержании процедур по удалению воздуха из топливной системы дизельного двигателя.

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ, УКОМПЛЕКТОВАННЫМ ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ НАСОСНЫМИ СЕКЦИЯМИ

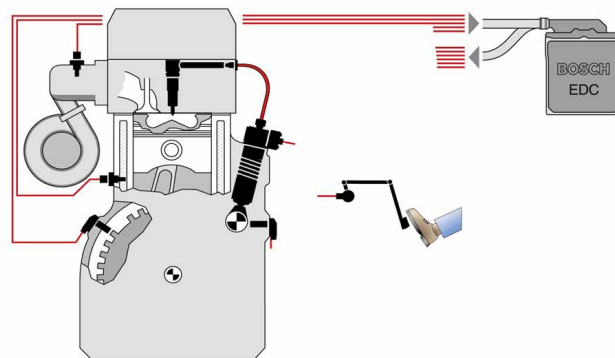


Рисунок 19-19: Принципиальная схема управления двигателем, оснащенный индивидуальными электронно-управляемыми насосными элементами; источник: *Robert Bosch*

*Pumpe-Leitung-Düse System (PLD-система)* = Насос – Топливопровод – Форсунка (дословно с немецкого языка), система электронного управления дизельным двигателем, у которой электромагнитный клапан управления впрыскиванием топлива расположен не в инжекторе, а в индивидуальной насосной секции.

Система электронного управления *PLD* разработана и широко применяется на грузовых автомобилях различных марок и моделей.

Приводной вал индивидуальных насосных секций установлен не в головке блока, в блоке цилиндров двигателя, что значительно снижает нагрузку на привод, и упрощает резьбовые крепления головки блока к блоку цилиндра.

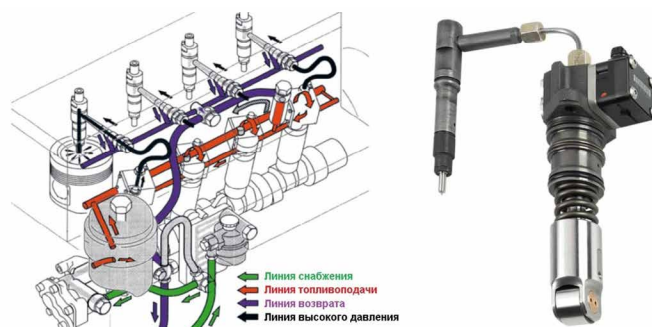


Рисунок 19-20: Гидравлическая схема системы (слева) и внешний вид *PLD*-элемента с подключенной к индивидуальной насосной секции форсункой; источник: *Mercedes-Benz*

## ФОРСУКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

### СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ФОРСУНКИ

Топливоподающая форсунка дизельного двигателя представляет собой нормально закрытый гидравлический клапан. При открытии клапана топливо распыляется непосредственно в цилиндр двигателя, либо в предварительную камеру, выполненную в головке блока цилиндров. Топливо-

подающие форсунки устанавливаются посредством резьбы или зажимного устройства в головку блока цилиндров по одной на каждый из цилиндров, и могут заменяться как по одной, так и в комплекте.

Распылитель (наконечник) форсунки, используемой для непосредственного впрыскивания топлива, снабжен множеством отверстий, через которые топливо подается в цилиндр двигателя.

Основные части форсунки дизельного двигателя включают в себя:

**Жаростойкий корпус.**

По сути, эта часть форсунки служит для крепления распылителя, и часто называется гайкой распылителя, поскольку имеет резьбовую часть, служащую для крепления распылителя к корпусу форсунки.

**Распылитель.**

Эта часть форсунки состоит из корпуса распылителя с отверстиями для распыления топлива, и игльчатого клапана (иглы распылителя), который пружиной прижат к корпусу распылителя, закрывая распыляющие отверстия.

**Игольчатый клапан распылителя.**

Эта тщательно подогнанная пара (прецизионная пара) составляют нормально закрытый игольчатый клапан, не позволяющий ни топливу, ни газам протекать через закрытые отверстия распылителя. Игольчатый клапан открывается давлением топлива, которое подается в распылитель либо секцией ТНВД, либо за счет перепада давления, формируемого электромагнитным клапаном по команде электронного блока управления дизелем (*EDC = Electronic Diesel Control*).

**Камера давления распылителя.**

Камера давления изготовлена в виде механически обработанной полости в корпусе распылителя, охватывающей иглу распылителя. Давление топлива, формируемое топливным насосом высокого давления, воздействует на буртик иглы, поднимая её навстречу силе сжатия запирающей пружины. В этот момент топливо с высокой скоростью вытекает через отверстия распылителя, образуя облако распыленного топлива.



Рисунок 19-21: Типичные электронно-управляемые форсунки дизельного двигателя; источник: *Pearson Education, Inc.*

## ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ФОРСУНКИ (ИНЖЕКТОРА)

Электромагнитный клапан форсунки прикреплен к верхней части её корпуса. Управление электромагнитным клапаном производится компьютером (блоком управления дизелем). В нужный момент на электромагнитный клапан подается электрический импульс, обеспечивающий возможность топливу быть распыленным в камеру сгорания цилиндра.

Топливо протекает через открывающийся клапан по каналу инжектора в камеру давления. Высокое давление в камере воздействует на специально изготовленный буртик на теле иглы распылителя, и поднимает иглу навстречу силе сжатия запирающей пружины, заставляя игольчатый клапан открыться. Когда игольчатый клапан распылителя открывается, дизельное топливо распыляется в камеру сгорания в виде конической струи тонкораспыленного топлива. Часть топлива, которое просачивается между иглой и корпусом распылителя, возвращается в топливный бак по линии возврата топлива.

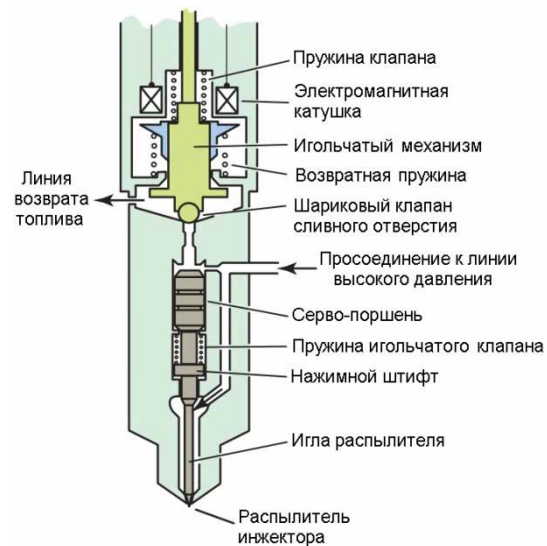


Рисунок 19-22: Топливный инжектор *Duramax* с указанием названий всех его деталей; источник: *Pearson Education, Inc.*

## СВЕЧИ НАКАЛИВАНИЯ

### НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Свечи накаливания всегда используются в двигателях с предварительной камерой сгорания, но нередко можно встретить свечи накаливания и у двигателей с непосредственным впрыскиванием дизельного топлива. Свеча накаливания – это нагревательный элемент, который использует энергию 12-вольтовой аккумуляторной батареи, и предназначен для обеспечения теплом локальной зоны камеры сгорания для облегчения запуска холодного двигателя.

При подаче электрического тока на свечу происходит нагрев спирали накаливания, и её электрическое сопротивление возрастает. Это, в свою очередь, снижает силу тока питания свечи накаливания.



Рисунок 19-23: Свечи накаливания в ассортименте. Показаны для демонстрации разнообразия размеров и типов свечей накаливания. Всегда следует использовать только рекомендованные производителем свечи; источник: *Pearson Education, Inc.*

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Контроль работы свечей накаливания, используемых на новых автомобилях, производится модулем управления силовыми цепями автомобиля (*PCM = Powertrain Control Module*), который контролирует температуру охлаждающей жидкости и температуру воздуха на впуске в двигатель. Свечи накаливания включаются, получая постоянный уровень напряжения, или получают пульсирующее напряжение (сигнал широтно-импульсной модуляции) в зависимости от температурного состояния двигателя. *PCM* будет держать свечи накаливания включенными и после запуска двигателя, если это необходимо для уменьшения выброса белесого дыма (несгоревшего топлива) при работе непрогретого двигателя, а так же для улучшения работы двигателя на режиме холостого хода.

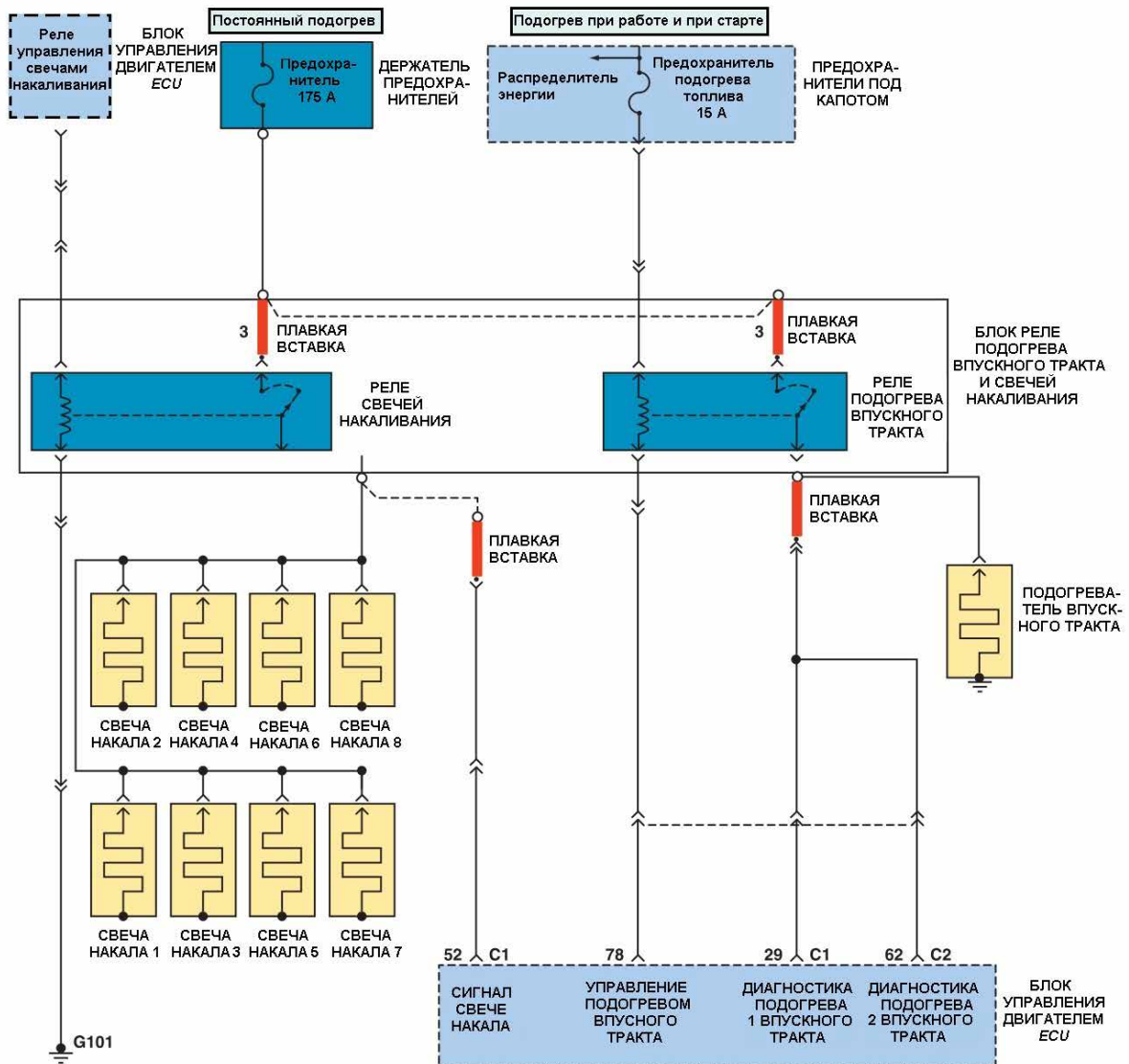


Рисунок 19-24: Схематическое изображение цепи управления свечами накаливания. Обратите внимание, что реле управления свечей накаливания, и реле управления подогревом впускного трубопровода оба управляются блоком управления двигателем (*ECM = Engine Control Module*); источник: *Pearson Education, Inc.*

Сигнальная лампа «*Wait to Start*» (Ждать для старта) будет гореть, если двигатель имеет низкую температуру или температура внешнего воздуха низка, чтобы дать свече время для её подогрева.

## НАГРЕВАТЕЛЬ ПУСКНОГО ТРУБОПРОВОДА

Некоторые дизельные двигатели, такие как *Dodge Cummins* и *General Motors 6,6-литровый Duramax V-8*, оснащены электрическим подогревателем, установленным во впускном трубопроводе, которые служат для прогрева впускного воздуха, чтобы помочь при запуске двигателя и поддержке устойчивых оборотов холостого хода в холодную погоду.



Рисунок 19-25: Электронагревательная спираль, установленная во впускном трубопроводе некоторых дизелей, служит для подогрева впускаемого воздуха; источник: *Pearson Education, Inc.*



### ЧАСТО ЗАДАВАЕМЫЙ ВОПРОС:

**Как можно определить, что в дизельное топливо по ошибке был добавлен бензин?**

Если бензин был случайно добавлен в дизельное топливо, и дизель сжигает эту смесь во время своей работы, это может губительно сказаться на техническом состоянии двигателя. Бензин будет воспламеняться быстрее дизельного топлива, что приведет к увеличению температуры сгорания горючей смеси. Чрезмерно высокая температура может повредить распылитель форсунки, свечу накаливания, прокладку головки блока, поршень и другие детали двигателя.

Если возникают подозрения о наличии бензина в топливе, появится характерный запах бензина в заливной горловине топливного бака. Если топливо пахнет бензином, необходимо слить все топливо из бака, и заправить качественным дизельным топливом.

Если топливо не имеет запаха бензина, или имеется иной прогорклый запах, отправьте образец топлива на определение удельного веса.



### РЕМАРКА:

Дизельное топливо, предназначенное для использования в дорожной технике, имеет зеленоватый оттенок. Красно-ватое дизельное топливо, имеющее повышенное содержание серы, предназначено для использования только в сельскохозяйственной и лесозаготовительной технике.

## ВАКУУМНЫЙ НАСОС С ПРИВОДОМ ОТ ДВИГАТЕЛЯ

Поскольку дизельный двигатель не имеет клапана-дросселя, в его впускном коллекторе образуется недостаточный уровень вакуума. Некоторые системы и компоненты автомобиля могут действовать только при наличии вакуума достаточного уровня. К этим системам относятся усилитель тормозного управления, система рециркуляции выхлопного газа (*EGR*), приводы заслонок вентиляции и отопления салона, приводы дверных замков. Большинство дизелей, используемых в легковых автомобилях и легких грузовиках, оснащены вакуумным насосом, используемым для подачи вакуума к перечисленным выше компонентам.

## ПОДОГРЕВАТЕЛЬ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Подогрев дизельного топлива позволяет избежать потери мощности и остановки двигателя в холодную погоду. Подогреватель располагают в топливной линии между топливным баком и фильтром грубой очистки топлива. Некоторые подогреватели дизельного топлива оснащены термостатом, который пускает топливо в обход подогревателя, если оно достигло рабочей температуры.

## ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ПЕДАЛИ ГАЗА (АКСЕЛЕРАТОРА)

Некоторые дизельные двигатели, устанавливаемые на легких грузовых автомобилях, оснащены электронно-управляемой дроссельной заслонкой, с помощью которой контролируется заполнение цилиндров двигателя свежим зарядом. Обычный дизельный двигатель не нуждается в клапане-дросселе, поскольку регулирование мощности и скорости вращения коленчатого вала двигателя производится изменением подачи топлива в цилиндры двигателя. Вместо механического соединения педали акселератора с топливным насосом высокого давления (ТНВД) дизельного двигателя, электронная система управления «*Throttle-by-Wire* = Дросселирование по проводам» использует датчик положения педали газа (педали акселератора) (*APP* = *Accelerator Pedal Position*). Для обеспечения безопасности, *APP* состоит из трех независимых датчиков, информирующих систему управления дизельным двигателем путем согласованного изменения напряжения при нажатии на педаль акселератора.

### ДАТЧИК ПЕДАЛИ АКСЕЛЕРАТОРА APP SENSOR

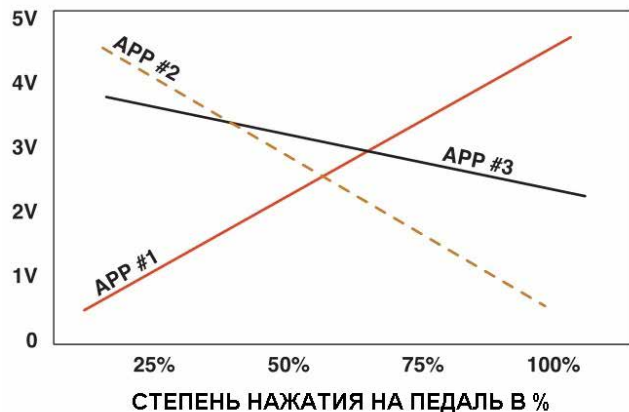


Рисунок 19-26: График изменений напряжения, регистрируемого тремя датчиками, установленными в типичном датчике педали акселератора (*Accelerator Pedal Position = APP*). Каждый из трех датчиков имеет отличную от других датчиков характеристику изменения напряжения при перемещении педали газа; источник: *Pearson Education, Inc.*

Компьютер проверяет наличие ошибок путем сравнения выходного напряжения на каждом из трех датчиков, и сравнивает их с теми значениями напряжений, которые должны быть. Если обнаруживается ошибка, работа двигателя переводится в аварийный режим, при этом искусственно снижается мощность и скорость вращения коленчатого вала двигателя.

## ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ТУРБОНАДДУВОМ

### ТУРБОНАГНЕТАТЕЛИ ДИЗЕЛЕЙ

Турбокомпрессор позволяет значительно увеличить мощность дизельного двигателя путем подачи в цилиндры предварительно сжатого воздуха. Это позволяет сжечь в цилиндре двигателя большее количество топлива, что и позволяет получить дополнительную мощность.



Рисунок 19-27: Турбокомпрессор дизеля Cummins используется для увеличения мощности и крутящего момента; источник: *Pearson Education, Inc.*

В турбокомпрессоре турбинное колесо раскручивается потоком выхлопных газов, выходящих из двигателя, поскольку этот газ направляется на лопатки турбинного колеса. Турбинное колесо приводит во вращение колесо центробежного компрессора, установленного на противоположном конце вала турбокомпрессора, при этом сжатый воздух подается во впускной коллектор.

### ОХЛАДИТЕЛЬ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА

Первым компонентом в типичной системе подачи воздуха в дизельный двигатель является воздушный фильтр, который расположен перед впуском воздуха в турбокомпрессор. В турбокомпрессоре воздух сжимается, при этом увеличивается его плотность (отношение массы к объему). Большинство современных турбированных дизелей оснащены теплообменником (*Intercooler = Интеркулером*), в котором сжатый в турбокомпрессоре воздух отдает часть теплоты, при этом повторно увеличивается плотность воздуха свежего заряда. Подача в цилиндры двигателя предварительно охлажденного воздуха, имеющего большую плотность, позволяет впрыснуть в цилиндры большее количество топлива, что позволяет получить ещё большую мощность от двигателя.

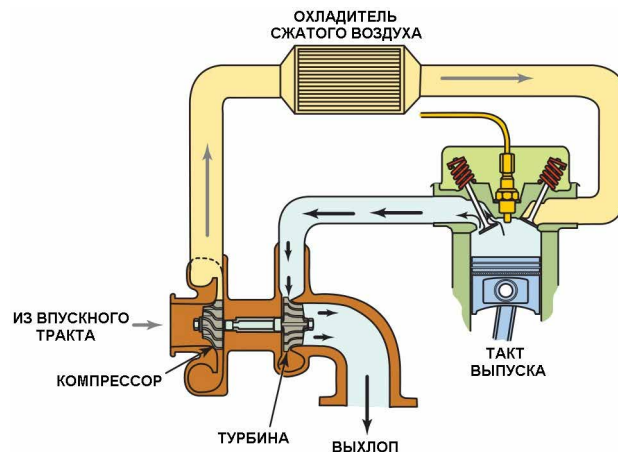


Рисунок 19-28: Охладитель воздушного заряда используется в дизельном двигателе с газотурбинным наддувом для увеличения его мощности; источник: *Pearson Education, Inc.*

### ТУРБОКОМПРЕССОР ПЕРЕМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Турбокомпрессор переменной производительности используется большинством современных двигателей с газотурбинным наддувом. Применение подобного турбокомпрессора позволяет регулировать давление наддува независимо от числа оборотов двигателя и массы выхлопных газов на выходе из двигателя. В отличие от обычных турбокомпрессоров, в турбокомпрессоре с переменной производительностью перепускной регулятор давления наддува не требуется. Поворотные лопатки, имеющие специальную аэродинамическую форму, крепятся к согласующему колесу, посредством которого производится требуемое позиционирование направляющих лопаток. Лопатки открыты, чтобы

минимизировать поток на турбину и выхлопной обратного давления на низких оборотах двигателя.

Если направляющие лопатки открыты (см. рис. 19-29), поток выхлопных газов подается к основанию турбинных лопаток, что снижает скорость вращения турбинного колеса, и производительность турбокомпрессора.

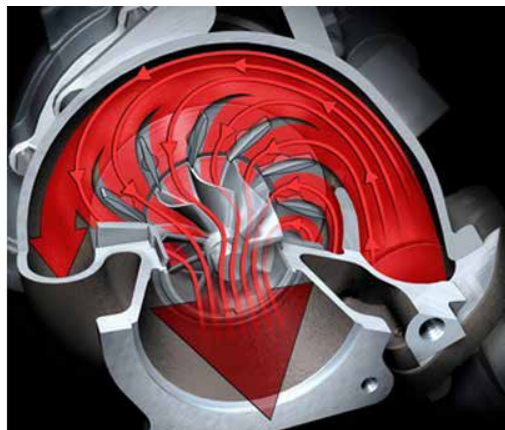
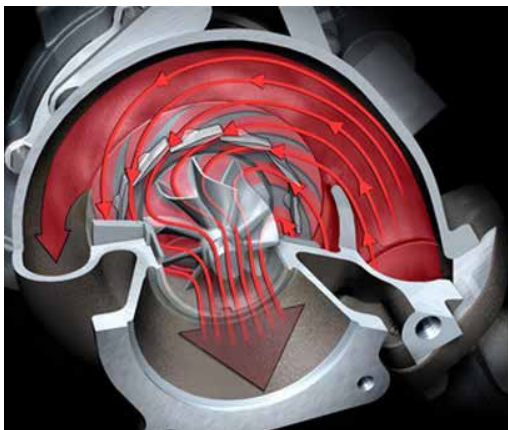


Рисунок 19-29: Закрытое положение направляющих лопаток (слева) позволяет направить поток выхлопных газов в периферийную область турбинных лопаток, что повышает производительность турбокомпрессора. Открытое положение направляющих лопаток (справа), напротив, снижает производительность турбокомпрессора, поскольку поток газов направляется в область оснований турбинных лопаток; источник: *Porsche*

Для увеличения скорости вращения турбинного колеса направляющие лопатки закрываются. Скорость выхлопных газов, протекающих через узкие щели между направляющими лопатками, увеличивается, при этом поток выхлопных газов направляется на периферийную часть турбинных лопаток, и это увеличивает скорость вращения турбинного колеса. Производительность турбокомпрессора повышается, несмотря на небольшую массу выхлопных газов, проходящих через турбокомпрессор.

Согласующее колесо, к которому крепятся направляющие лопатки, перемещается посредством эксцентрика, который позиционируется посредством кремальерной (зубчато-реечной) передачи. Поступательное движение кремальерной рейки (см. рис. 19-30) осуществляется гидравлическим поршнем.

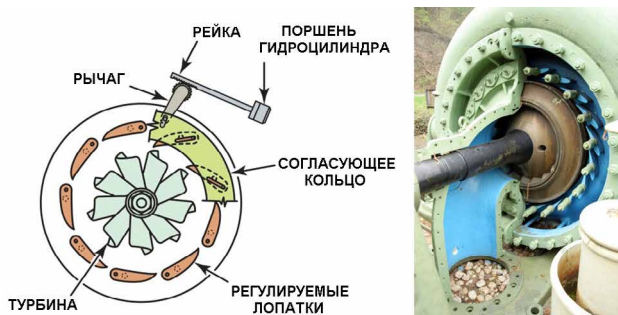


Рисунок 19-30: Турбокомпрессор переменной производительности позволяет, изменяя положение направляющих лопаток, получать требуемую производительность компрессора, не прибегая к использованию перепускного клапана; источник: *Pearson Education, Inc.*

Электромагнитный клапан позиционирования направляющих лопаток позволяет задать необходимое давление масла или уровень вакуума подаваемого в гидравлический цилиндр или вакуумную камеру, которая поворачивает согласующее колесо, и связанные с ним направляющие лопатки турбокомпрессора.

Объем подаваемого масла или уровень вакуума позволяют реализовать один из трех режимов: приложение усилия, фиксация позиции и освобождение.

- Режим приложения усилия позволяет перевести направляющие лопатки в закрытое положение.
- Режим фиксации позиции позволяет удерживать направляющие лопатки в требуемой позиции.
- Режим освобождение позволяет перевести направляющие лопатки в открытое положение.

Положение направляющих лопаток турбокомпрессора выбирается блоком управления дизельным двигателем, который может повысить эффективность турбокомпрессора вне зависимости от числа оборотов коленчатого вала двигателя. Блок управления обеспечивает управляющим сигналом электромагнитный клапан на заземляющей стороне цепи управления соленоидом. Используя сигнал широтно-импульсной модуляции, блок управления способен переместить электромагнитный клапан в требуемое положение.

## РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ВХЛОПНОГО ГАЗА

Система рециркуляции выхлопных газов предназначена для подачи некоторого количества выхлопных газов обратно, во впускной тракт, что позволяет снизить температуры горения топлива. Это благотворно сказывается на тепловой нагрузке деталей двигателя, и снижает количество оксидов азота ( $NO_x$ ) в выхлопных газах двигателя.

Система *EGR* = *Exhaust Gas Recirculation* = Рециркуляция выхлопных газов состоит из следующих компонентов:

- Трубопроводов и/или выполненных в головке блока цилиндров каналов, по которым часть выхлопных газов из выхлопного коллектора перенаправляется во впускной коллектор.
- Клапана управления рециркуляцией выхлопного газа.
- Теплообменника, выполненного из нержавеющей стали, и предназначенного для охлаждения той части выхлопного газа, который направляется во впускной тракт двигателя.



Рисунок 19-31: Иллюстрация теплообменника выхлопного газа в разрезе. Промежуточный теплообменник, установленный в линии возврата выхлопного газа в цилиндр двигателя, позволяет значительно снизить содержание оксидов азота *NOx* в выхлопных газах двигателя; источник: *Pearson Education, Inc.*

Клапан рециркуляции выхлопного газа контролируется блоком управления двигателем. Как правило, клапан рециркуляции выхлопного газа представляет собой вакуумный исполнительный механизм, предназначенный для обеспечения плавного регулирования потока выхлопного газа, направляемого во впускной тракт двигателя. В качестве исполнительного механизма может использоваться шаговый мотор постоянного тока, который посредством червячной передачи, перемещает шток, открывающий клапан рециркуляции.

Червячная передача обеспечивает только открытие клапана рециркуляции, закрытие клапана обеспечивается возвратной пружиной. Управляемый шаговым двигателем клапан *EGR* с датчиком перемещения золотника клапана представляет собой 5-проводную конструкцию исполнительного механизма.

Блок управления двигателем использует датчик позиционирования клапана для того, чтобы убедиться, что клапан рециркуляции занял именно ту позицию, которую задает блок управления двигателем.



Рисунок 19-32: Большинство клапанов *EGR* приводятся в действие вакуум-модулированным сигналом. На снимке показан клапан *EGR* с электронным (цифровым) управлением и постоянным мониторингом положения исполнительного механизма. На части американских автомобилей уже используют этот тип клапана, многие новые автомобили *Honda* уже используют подобный клапан *EGR*; источник: *Pearson Education, Inc.*

## ТВЕРДЫЕ ЧАСТИЦЫ В ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЕЙ

### СТАНДАРТЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ СОДЕРЖАНИЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ

Под термином «Твердые частицы» (*PM* = *Particulate Matter*), которые в просторечье именуются, как сажа, подразумеваются мельчайшие частицы твердых или полужидких материалов, находящихся во взвешенном состоянии в газе. К твердым частицам относят примеси, имеющие размер от 0,1 микрона до 50 микрон. Частицы, размер которых превышает 50 микрон, как правило, быстро оседают из-за сил тяжести.

Твердые частицы принято классифицировать следующим образом:

- Общее количество взвешенных примесей (*Total Suspended Particulate* = *TSP*).

Эта категория примесей включает все твердые частицы от 0,1 до 50 мкм (микрон). Начиная с 1987 года Агентство по охране окружающей среды (*Environmental Protection Agency* = *EPA*) определяет эту категорию загрязнений, как *Total Suspended Particulate* = *TSP*.

- *PM10*.

К этой категории твердых примесей отнесены частицы с поперечным размером 10 мкм и менее (приблизительно 1/16 диаметра человеческого волоса).

Согласно классификации Агентство по охране окружающей среды (*Environmental Protection Agency* = *EPA*) эта группа твердых загрязнителей классифицируются, как *PM10*.



- *PM<sub>2,5</sub>*.

К этой категории загрязнителей, согласно классификации *EPA*, приведенной в июле 1997 года, отнесены частицы с поперечным размером 2,5 мкм (приблизительно 1/20 диаметра человеческого волоса).

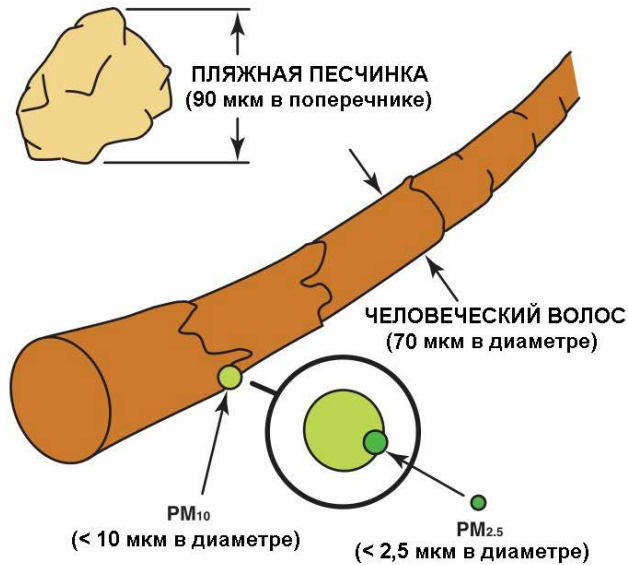


Рисунок 19-33: Относительные размеры человеческого волоса и твердых частиц, согласно их классификации по *EPA*; источник: Pearson Education, Inc.

## РАЗНОВИДНОСТЬ САЖИ

Генерируемая в процессе работы дизельного двигателя сажа может быть разделена на следующие категории.

- Мелкая.  
Менее чем 2,5 мкм.
- Ультра мелкая  
Менее чем 0,1 мкм, которая составляет от 80 до 95% массы всей сажи.

### **РЕМАРКА:**

**Сажа** – аморфный углерод. Сажа представляет собой частицы твердых углеродистых продуктов с содержанием чистого углерода до 99%, диаметр этих частиц непосредственно после их образования обычно равен 5 — 50 нм. Затем еще в процессе сгорания в дизеле имеет место коагуляция частиц с образованием вторичных и третичных структур с линейными размерами 0,3—100 мкм.

Частицы сажи образованы из слоев углеродных атомов, подобных слоям в графите. Эти слои состоят из шестигонных колец, в вершинах которых находятся атомы углерода, но, в отличие от графита, слои в саже не плоские, а изогнутые, что и обуславливает сферическую поверхность частиц.

Сажа представляет собой механический загрязнитель легких человека, но значительно больше она опасна как адсорбент и активный переносчик канцерогенных веществ, в частности бенз-альфа-пирена, вызывающего рак легких.

На поверхности сажевых частиц могут конденсироваться углеводороды в виде канцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в числе которых бенз-альфа-пирен, альдегидов и других сложных органических веществ. Наибольшая скорость образования бенз-альфа-пирена имеет место при температуре 900-1200 К. Зонами преимущественного образования бенз-альфа-пирена являются пристеночные слои.

Наличие сажи в отработавших газах обуславливает черный дым на выхлопе. Эта дымность является большим недостатком дизелей, особенно на режимах разгона. Наибольшее количество сажи образуется в процессе диффузионного горения в ядре факела, особенно при работе дизеля на полных нагрузках, что обусловлено большой местной концентрацией компонентов топлива с высокой температурой кипения, а также малой концентрацией кислорода. На такте расширения часть образовавшейся сажи выгорает в турбулентном пламени. Степень выгорания сажи зависит от концентрации кислорода вблизи частиц, температуры и времени пребывания частиц в цилиндре. При усилении турбулентности и вихревого движения заряда перемешивание горячей смеси интенсифицируется, в результате чего выгорание сажи усиливается, а образование ее тормозится, т.е. дымность отработанных газов уменьшается.

В цилиндре карбюраторного двигателя сгорает гомогенная смесь с большим содержанием кислорода, поэтому сажа образуется в ничтожных количествах.

Кроме указанных веществ в выхлопных газах ДВС появляются альдегиды, сера, свинец.



### **ЧАСТО ЗАДАВАЕМЫЙ ВОПРОС:**

**Какие большие проблемы могут вызвать очень маленькие частицы сажи?**

Многие годы считалось, что выбросы сажи или других твердых частиц (PM) дизельными двигателями менее опасны, чем вредные вещества выхлопных газов бензиновых двигателей. Бытовало мнение, что сажа может просто осесть на почву, не принося вреда здоровью человека или окружающей среде. Однако исследователями было доказано, что особо мелкие частицы сажи не выводятся из легких человека, как это происходит с крупными частицами сажи. Мелкие и сверхмелкие частицы сажи оседают в глубинных участках легких, где они постепенно накапливаются.

## **ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ КАТАЛИЗАТОР ДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

### **ЗАДАЧИ И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ**

Окислительные катализаторы дизелей (*Diesel Oxidation Catalysts = DOC*) устанавливаются на все легковые автомобили с дизельными двигателями, начиная с 2007 года. Он со-

стоит из прочной подложки сотовой структуры, покрытой тонким слоем катализатора, и в принципе похож на катализатор бензинового автомобиля. Сотовая структура подложки необходима для увеличения активной поверхности каталитического слоя. В роли катализатора выхлопных газов дизельного двигателя выступают платина и палладий, а также ряд других цветных металлов. Материалы, именуемые катализаторами, не вступая в химическую реакцию, окисляют вредный для здоровья оксид азота ( $NO$ ) в диоксид азота ( $NO_2$ ), а также ускоряют процессы окисления несгоревших углеводородов ( $CH$ ). Химическая реакция окисления протекает подобно горению топлива в камере сгорания двигателя с воспламенением от сжатия.

Реализация основной функции окислительного катализатора возможна только после начала регенерации богатым топливом выхлопным газом теплоты (см. рис. 19-34).

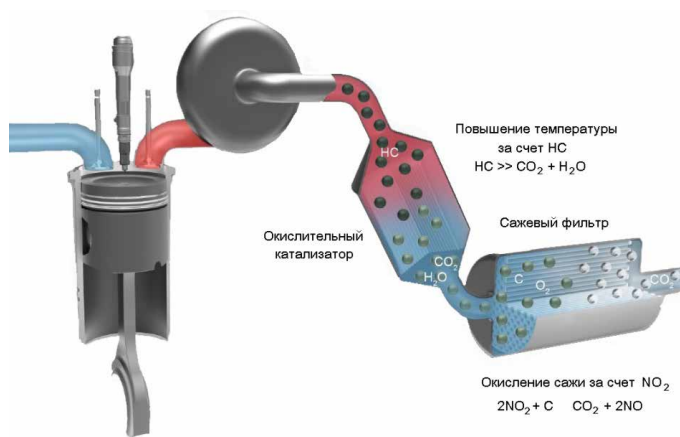


Рисунок 19-34: Система снижения эмиссии вредных веществ дизельного двигателя включает в состав окислительный катализатор и сажевый фильтр.

Окислительный катализатор так же снижает содержание:

- Угарного газа (*Carbon Monoxide* =  $CO$ )
- Углеводородов (*Hydrocarbons* =  $HC$ )
- Вызывающие запах химических соединений, таких как альдегиды и сульфиды.

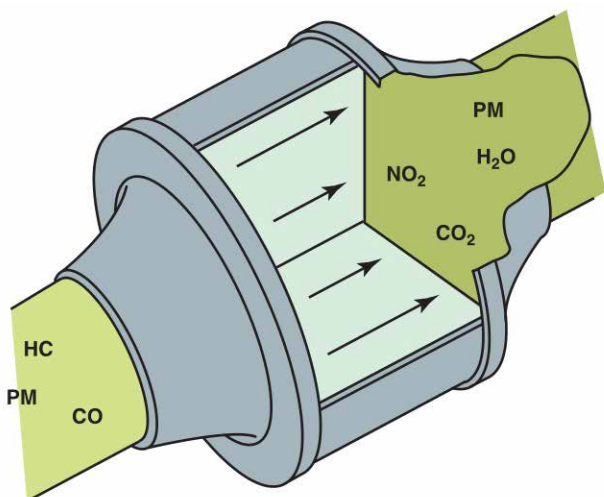


Рисунок 19-35: Химические преобразования, протекающие в окислительном катализаторе; источник: *Pearson Education, Inc.*

## САЖЕВЫЙ ФИЛЬТР ДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

### ЗАДАЧИ И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Дизельный сажевый фильтр (*Diesel Exhaust Particulate Filters* = *DPFs*) устанавливается на всех легковых автомобилях, оснащенных дизельными двигателями, начиная с 2007 года, что стало необходимым для выполнения повышенных стандартов эмиссии вредных веществ дизельными автомобилями. Горячие выхлопные газы из окислительного катализатора (*DOC*) направляются в сажевый фильтр (*DPF*), где эти газы захватывают частицы сажи, скопившейся в ячейках сажевого фильтра, и заставляют её сгореть (окислиться в присутствии свободного молекулярного кислорода  $O_2$ ). Это происходит путем принуждения выхлопных газов протекать через пористые ячейки матрицы, структура которых образована пористым карбидом кремния. Подложка для катализатора выполнена из оксидов алюминия и церия, на которых задерживается копоть. Фильтрующие стенки состоят из пористого карбида кремния. Они покрыты смесью оксидов алюминия и церия, выполняющих функцию подложки для катализатора, в качестве которого используется благородный металл – платина.

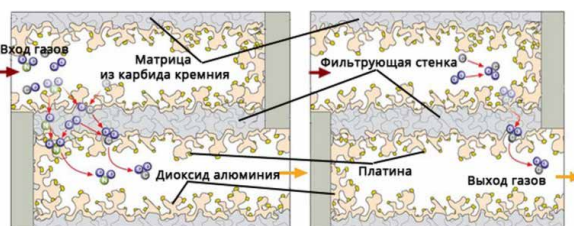


Рисунок 19-36: Схема движения выхлопных газов через пористые ячейки сажевого фильтра; источник:

Основным конструктивным отличием сажевого фильтра от типичных катализаторов является то, что каждый канал сажевого фильтра блокируется на одном конце, и выхлопные газы не могут свободно протекать через каналы от одного конца катализатора к его противоположному концу. Поэтому выхлопные газы не текут по каналам вдоль всего катализатора, а вынуждены просачиваться через пористые стенки заблокированных каналов, и вытекают через открытые концы прилегающих каналов.

Фильтр подобного типа называют так же, как «*Wall-Flow Filter*» (Фильтр с потоком через стенки).

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Частицы сажи выхлопного газа оседают в ловушках твердых частиц ( $PM$ ) сажевого фильтра, в котором с течением времени количество частиц достигает критического значения, и сажевый фильтр «забивается». Это значит, что сажевый фильтр следует периодически очищать от скопившихся частиц сажи.

Процесс очистки сажевого фильтра (*DPF*) описывается, как процесс регенерации. Когда температура выхлопных газов увеличивается, теплота превращает в пепел частицы сажи, скопившиеся в фильтре, тем самым восстанавливая эффективность фильтра.

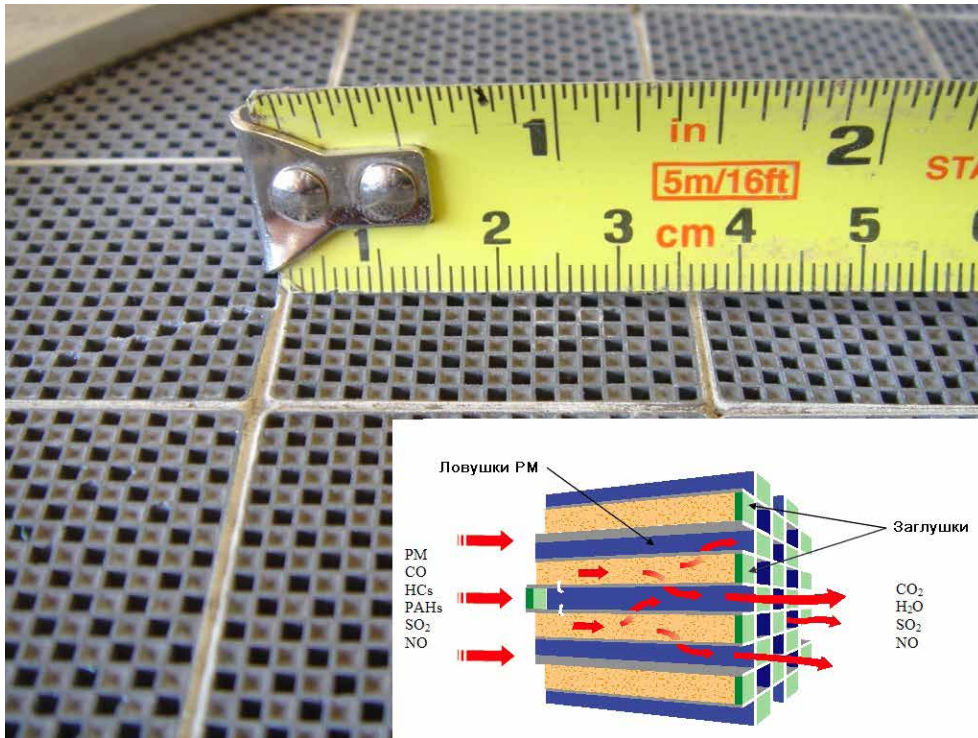


Рисунок 19-37: Вид на сажевый фильтр со стороны входа выхлопных газов и схема улавливания твердых частиц элементами *Wall-Flow Filter*; источник:

### Симптомы засорения сажевого фильтра

Когда фильтр очистки сажи засорен или полностью вышел из строя, то о его состоянии водителю будут сигнализировать такие признаки:



Рисунок 19-38: Крупные твердые частицы нагара, которые образуются при сгорании серы, забивают сажевый фильтр, снижая эффективность работы дизельного двигателя.

Забитость сажевого фильтра обязательно будет свидетельствовать один из симптомов.

- Мощность и тяга двигателя упадет;
- Выхлоп ОГ будет с повышенной задымленностью;
- Значительно вырастет расход топлива;
- Работа двигателя на холостых оборотах будет неустойчивой;
- Повысится уровень масла;
- Работа двигателя может сопровождаться шипящим звуком;
- Будет гореть предупреждающий сигнал значок на приборной панели. Сигнал может быть разным: в виде сажевого фильтра, иконка DPF или FAP если фильтр закрытого типа с функцией восстановления, постоянного мигающая спираль или в виде текстового сообщения, выводимого на дисплей.

### ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ

Два установленных последовательно датчика температуры выхлопных газов призваны помочь блоку управления двигателем контролировать состояние сажевого фильтра. Первый датчик температуры выхлопных газов (*EGT sensor 1*) установлен между окислительным катализатором (*DOC*) и сажевым фильтром (*DPF*), где он может измерить температуру выхлопных газов на входе в сажевый фильтр. Второй датчик температуры выхлопных газов (*EGT sensor 2*) установлен сразу же за сажевым фильтром, где он измеряет температуру газов на выходе из сажевого фильтра. Блок управления двигателем оценивает сигналы от датчиков температуры, как часть калибровок управления процессом регенерации сажевого фильтра. Надлежащий уровень температуры выхлопных газов на входе в сажевый фильтр имеет решающее значение для правильной работы и начала процесса регенерации сажевого фильтра. Слишком высокая температура внутри сажевого фильтра может повредить подложку катализатора, или вызвать появления трещин в керамической структуре сажевого фильтра. Регенерация будет прекращена при достижении температур, превышающих 800°C. При слишком низкой температуре внутри сажевого фильтра процесс регенерации происходить не будет, поскольку скопившаяся в фильтре сажа не будет испепеляться.

## СИСТЕМА СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ДИЗЕЛЯ

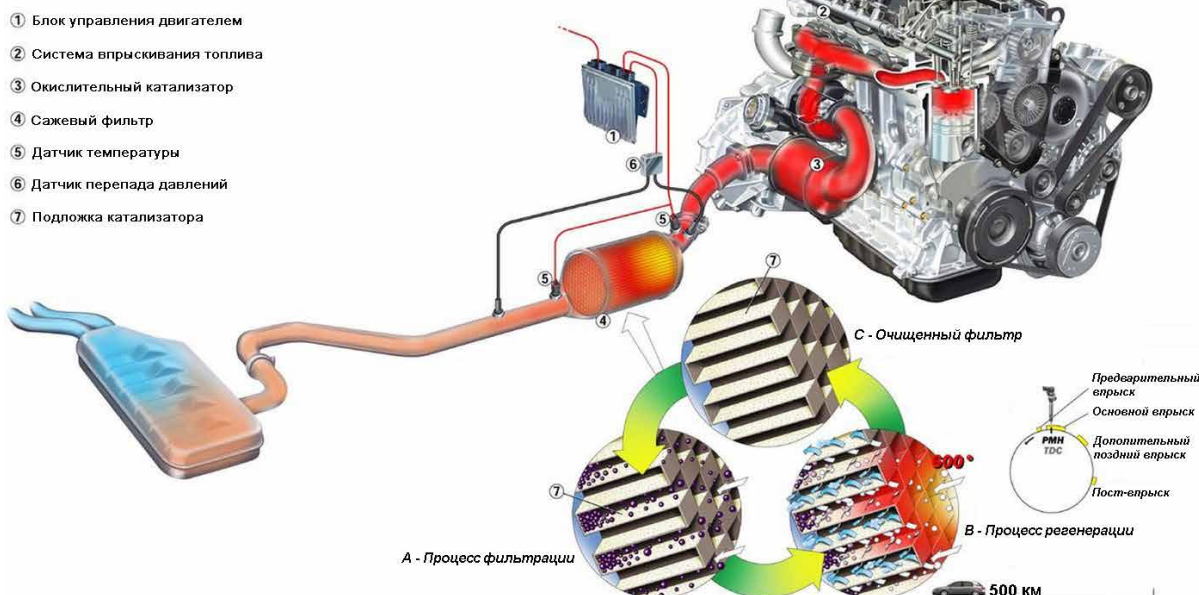


Рисунок 19-39: Датчики температуры  $EGT_1$  и  $EGT_2$  используются блоком управления для помощи в контроле процесса регенерации сажевого фильтра; источник: Renault

### ДАТЧИК ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЙ

Датчик перепада давлений (*Differential Pressure Sensor = DPS*) имеет две линии подачи давления газа к датчику.

- Одна линия подключена перед входом газов в сажевый фильтр.
- Вторая линия подключена после сажевого фильтра.

Точное расположение датчика перепада давлений сажевого фильтра зависит марки, модели, типа кузова автомобиля. Блок управления двигателем путем сравнения давления выхлопного газа на входе в сажевой фильтр, с уровнем давления выхлопного газа на выходе из сажевого фильтра определяет так называемый перепад давлений в сажевом фильтре, известном, как «*Delta Pressure*». Данные от датчика перепада давлений используются блоком управления как часть калибровки управления процессом регенерации сажевого фильтра.

### РЕГЕНЕРАЦИЯ САЖЕВОГО ФИЛЬТРА ДИЗЕЛЯ

Основная причина удаления скопившейся в сажевом фильтре сажи – предотвратить отрицательное влияние обратного давления в системе выпуска отработавших газов. Избыточное обратное давление увеличивает расход топлива, снижает мощность, и потенциально может привести к повреждению двигателя.

Для запуска процесса регенерации сажевого фильтра блок управления дизельным двигателем руководствуется следующими факторами:

- Дистанция, пройденная с момента предыдущей регенерации;
- Количество топлива, израсходованного с момента предыдущей регенерации;
- Время работы двигателя, прошедшее с момента предыдущей регенерации;
- Перепад давлений на входе и на выходе из сажевого фильтра.

### ПРОЦЕСС РЕГЕНЕРАЦИИ САЖЕВОГО ФИЛЬТРА

Для выполнения процедуры регенерации сажевого фильтра потребуются одновременная работа сразу нескольких компонентов системы управления дизельным двигателем:

1. Блок управления двигателем оказывает существенное влияние на процесс регенерации сажевого фильтра путем подачи дополнительной порции топлива в конце такта рабочего хода, управляя скоростью вращения коленчатого вала двигателя при автоматическом переключении на пониженную передачу, а также путем адаптивного регулирования давления топлива, подаваемого в цилиндры двигателя.
2. Дополнительный поздний впрыск топлива обеспечивает сгорание этой порции топлива в окислительном катализаторе, который увеличивает температуру выхлопных газов, входящих в сажевый фильтр до  $500^{\circ}\text{C}$  и выше.

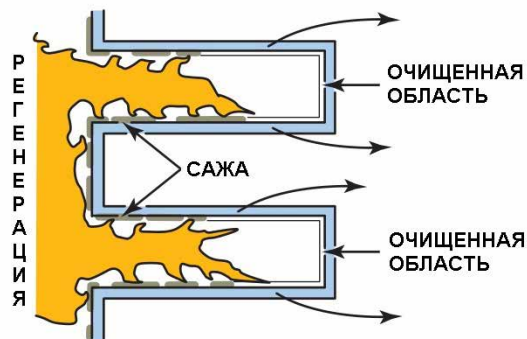


Рисунок 19-40: В процессе регенерации горящие газы, вытекающие из окислительного катализатора, выжигают скопившуюся в сажевом фильтре сажу; источник: Pearson Education, Inc.

3. Электронно-управляемая дроссельная заслонка, установленная во впускном тракте дизельного двигателя, ограничивает подачу воздуха в двигатель, что повышает температуру горения смеси и температуру выхлопных газов.
4. Во время процесса регенерации может быть включен обогреватель воздуха на впуске в двигатель, что также повысит температуру выхлопных газов.

#### ТИПЫ РЕГЕНЕРАЦИИ САЖЕВОГО ФИЛЬТРА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Регенерация сажевого фильтра (DPF) может быть инициирована несколькими способами, в зависимости от назначения автомобиля и условий его эксплуатации.

Регенерация сажевого фильтра может быть произведена одним из двух способов:

- Пассивная регенерация.

При нормальных условиях эксплуатации, когда условия вождения позволяют получить достаточные нагрузки, и температура выхлопных газов достаточно высока, может происходить так называемая пассивная регенерация. Пассивная регенерация происходит без участия блока управления двигателем или без каких-либо действий со стороны водителя. Пассивная регенерация, как правило, происходит при движении по шоссе с высокой скоростью, или при буксировке прицепа.

- Активная регенерация.

Активная регенерация производится по команде блока управления двигателем, если он определит, что сажевый фильтр нуждается в регенерации, и условия для регенерации сажевого фильтра могут быть выполнены. Активная регенерация, как правило, протекает незаметно для водителя. Для окончания процедуры регенерации автомобиль должен двигаться на скорости свыше 50 км/ч в течение 20...30 минут.

В процессе регенерации температура выхлопных газов может достигать 550...600°C.



#### **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОБ ОПАСНОСТИ**

Во время регенерации из выхлопной трубы автомобиля будет вытекать газ, температура которого превышает 300°C. Для предотвращения получения ожогов или возникновения пожара во время регенерации сажевого фильтра следует устанавливать автомобиль так, чтобы выхлопные газы не были направлены ни в сторону людей, ни в сторону оборудования мастерской.



#### **ЧАСТО ЗАДАВАЕМЫЙ ВОПРОС:**

#### ***Что такое воздушный охладитель выхлопных газов (Exhaust Air Cooler)?***

Воздушный охладитель выхлопного газа – это насадка на выходной конец выхлопной трубы, имеющая прорези для воздуха, которые втягиваются через них, перемешиваясь с потоком выхлопного газа. Горячий выхлопной газ протекает мимо прорезей воздушного охладителя, и наружный воздух, втягиваясь через щели охладителя, снижает температуру газовой смеси. Охладитель способен снизить температуру газовой смеси, вытекающей из охладителя, с 430...450°C до 250...270°C.

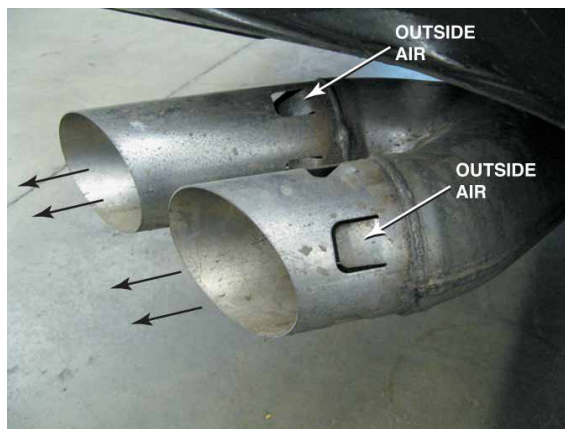


Рисунок 19-41: Насадка на конце выхлопной трубы имеет прорези, через которые втягивается наружный воздух, смешиваясь с выхлопными газами, и охлаждая температуру исходящей газовой смеси; источник: Pearson Education, Inc.

#### **ЗОЛЬНАЯ ПЕРЕГРУЗКА**

Регенерация не освобождает сажевый фильтр от золы. Во время регенерации сгорают только твердые частицы сажи (PM). Зола же является негорючим продуктом, который образуется в результате угара смазочного масла.

Зола, скопившаяся в сажевом фильтре, может стать причиной неудовлетворительной работы сажевого фильтра. Во время сервисного обслуживания перегруженный золой сажевый фильтр должен быть снят с автомобиля, очищен или заменен.

Автомобили, оснащенные сажевым фильтром, должны эксплуатироваться на малозольном смазочном масле API CJ-4. Зольность смазочного масла CJ-4 составляет не более 1%



#### РЕМАРКА:

**Сульфатная зольность.** При сгорании масла образуется зола, которая состоит из солей и минералов, находящихся в масле во взвешенном состоянии. При очистке базового масла зольность должна быть минимальной и составляет порядка 0,005% и меньше. Однако, при введении необходимых для качественного масла присадок, зольность резко возрастает и достигает 1-1,5%. Сульфатная зольность масла в процессе работы двигателя, почти не изменяется и в нормативной документации ограничена верхним пределом. Это обусловлено тем, что излишне зольное масло может способствовать повышенному износу деталей, вследствие абразивного воздействия на поверхности трения, а также приводить к преждевременному воспламенению рабочей смеси из-за образования отложений в камере сгорания и неблагоприятно влиять на работоспособность свечей зажигания. Базовые масла практически беззольны.

Такое снижение имеет допустимые пределы, по достижении которых масло считается утратившим свою работоспособность. Поэтому, при прочих равных условиях, предпочтительнее масло, у которого щелочное число выше.

## КАТАЛИЗАТОР СЕЛЕКТИВНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

### ЦЕЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Селективное каталитическое восстановление (*Selective Catalytic Reduction = SCR = Катализатор селективного восстановления*) - это метод, используемый для уменьшения выбросов  $NOx$  путем введения карбамида в поток выхлопного газа. Вместо использования большого объема рециркуляции выхлопного газа (*EGR*) система селективного каталитического восстановления использует впрыск в выхлопную систему автомобиля водного раствора карбамида (мочевины). Карбамид широко используется в качестве азотного удобрения. Карбамид не имеет цвета, запаха и не обладает токсичными свойствами.

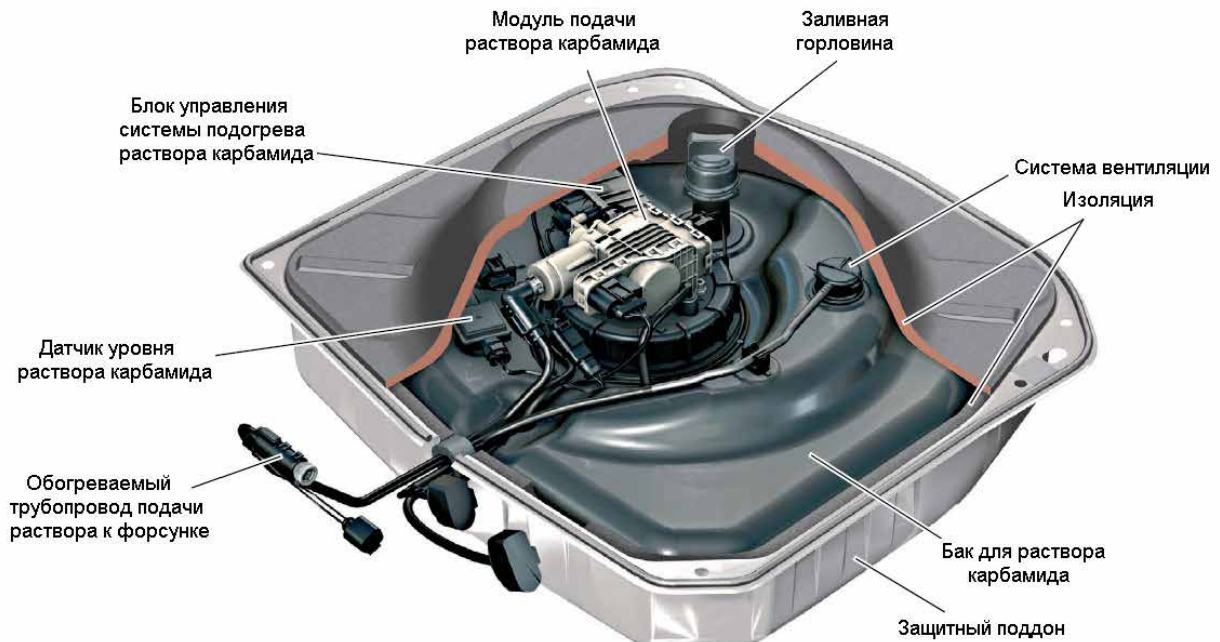


Рисунок 19-43: Бак с возимым запасом раствора карбамида, емкостью 16,8 литра, в автомобиле *Passat Blue TDI* укладывается в поддон, закрепленный под нишей запасного колеса; источник: *VW-Audi S424*.

Довольно высокая сульфатная зольность моторных масел в основном, обусловлена наличием в их составе моющих присадок, содержащих металлы. Эти присадки необходимы для предотвращения нагара и лака-образования на поршнях, кольцах, клапанах и придания маслам способности к нейтрализации кислоты. Чем больше щелочное число, тем большее количество кислот, образующихся при окислении масла и сгорании топлива, может быть переведено в нейтральное соединение.

В противном случае эти кислоты вызвали бы коррозионный износ деталей двигателя и усилили процессы образования различных углеродистых отложений. При работе масла в двигателе, щелочное число неизбежно снижается.

Готовый водный раствор карбамида в Северной Америке получил название «*Diesel Exhaust Fluid = DEF = Жидкость для системы выхлопа дизельных автомобилей*», а в Европе именуется, как «*AdBlue*».

Раствор карбамида вводят в катализатор, в котором происходит химическая реакция конвертации оксидов азота  $NOx$  в безвредные компоненты: молекулярный азот ( $N_2$ ) и воду ( $H_2O$ ).

Производители легковых автомобилей комплектуют автомобили, использующие *SCR*, дополнительными баками для *AdBlue*, объемом, позволяющим производить дозаправку бака раствором карбамида одновременно с очередной сменной моторного масла (12000 км)



Рисунок 19-42: Жидкости для систем выхлопа дизельных автомобилей *AdBlue* стоит около 60 рублей за литр и размещается в отдельном контейнере, который содержит от 20 до 40 литров, или в объеме, достаточном до следующей плановой замены масла в большинстве дизельных автомобилей, которые используют *SCR*; источник: *Pearson Education, Inc.*

Сигнальная лампа, звуковая сигнализация или надпись на экране бортового компьютера предупреждает водителя о необходимости произвести заправку автомобиля *AdBlue*. Если проигнорировать предупреждающий сигнал, и не заправить систему селективного каталитического восстановления *AdBlue*, в соответствии с предписаниями *EPA*, мощность двигателя может быть ограничена и автомобиль может не завестись после ночной стоянки.

Предписание *EPA* разработано, и является обязательным для производителей-экспортеров транспортных средств, для того, чтобы автомобили не могли эксплуатироваться при отсутствии или неисправности системы селективного каталитического восстановления, поскольку выбросы вредных веществ неисправного автомобиля многократно увеличатся.

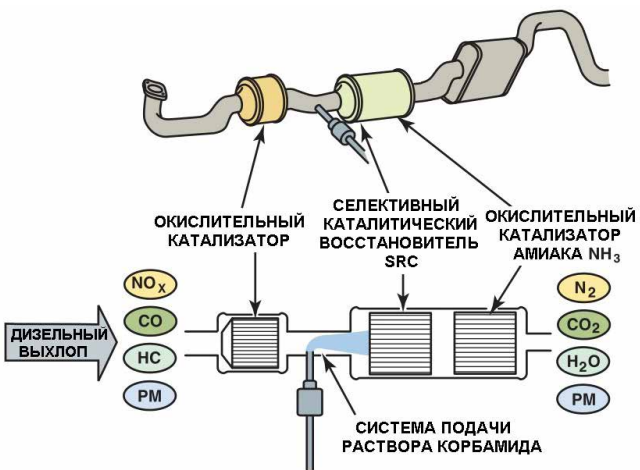


Рисунок 19-44: Раствор карбамида (*Diesel Exhaust Fluid*, или *AdBlue*) используется для снижения содержания оксидов азота ( $NO_x$ ) в выхлопных газах, и впрыскивается перед катализатором *SCR*, установленном между окислительным катализатором (*DOC*) и сажевым фильтром (*DPF*); источник: *Pearson Education, Inc.*

### ПРЕИМУЩЕСТВА *SCR*

Применение селективного каталитического восстановления (*SCR*) вместо подачи большого объема выхлопного газа системой *EGR* имеет ряд преимуществ:

- Возможность увеличения выходной мощности двига-

теля при неизменном рабочем объеме;

- Снижение эмиссии  $NO_x$  более чем на 90%;
- Снижение эмиссии угарного газа ( $CO$ ) и несгоревших углеводородов ( $HC$ ) более чем на 50%;
- Снижение эмиссии твердых частиц ( $PM$ ) около 50%.

### НЕДОСТАТКИ *SCR*

Применение селективного каталитического восстановления (*SCR*) вместо подачи большого объема выхлопного газа системой *EGR* имеет ряд недостатков:

- Необходима установка дополнительного бака для возимого запаса раствора мочевины;
- Местные поставщики не обеспечивают надлежащего качества раствора мочевины;
- Увеличение расходов владельца транспортного средства из-за необходимости приобретения дополнительного расходного материала.

### ДИАГНОСТИКА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ДЫМНОСТИ ВЫХЛОПА

Хотя некоторое количество дыма в выхлопном газе дизельного автомобиля является нормой, особенно при эксплуатации автомобилей устаревших систем топливоподачи, при появлении излишнего дыма в выхлопных газах возникает необходимость проведения диагностики, и ремонта топливной системы автомобиля или системы снижения эмиссии вредных веществ с отработавшими газами.

### ЧЕРНЫЙ ДЫМ

Черный дым выхлопа дизельного двигателя, как правило, появляется в результате недостатка воздуха в камере сгорания, или неисправностей в системе впрыскивания дизельного топлива, что приводит к подаче чрезмерного количества топлива в цилиндры.

Ниже приведены компоненты, которые следует проверить на исправность функционирования при появлении черного дыма:

- Удельную плотность топлива (плотность в градусах *API*)



### РЕМАРКА:

Плотность в градусах *API* — единица измерения плотности нефти или нефтепродуктов, разработанная Американским институтом нефти. Измерения в градусах *API* позволяют определить относительную плотность нефти/нефтепродуктов по отношению к плотности воды при той же температуре. По определению, относительная плотность равняется плотности вещества, деленной на плотность воды (плотность воды равняется  $1000 \text{ кг/м}^3$ ). Так если плотность в градусах *API* больше 10, то нефть легче и плавает на поверхности воды, а если меньше 10, то тонет. Плотность в градусах *API* и относительная плотность в при базовой температуре  $60 \text{ }^\circ\text{F}$  ( $15.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ) связаны четким арифметическим уравнением и могут быть легко

преобразованы друг в друга.

- С помощью сканирующего прибора провести тест на баланс инжекторов для выявления неисправного инжектора;
- Корректность работы датчика температуры охлаждающей жидкости (*Engine Coolant Temperature (ECT) sensor*);
- Безупречность работы датчика давления топлива в рампе (*Fuel Rail Pressure (FRP) sensor*);
- Пропускную способность впускного трубопровода или производительность газотурбинного нагнетателя;
- Качество применяемого моторного масла.

## БЕЛЕСЫЙ ДЫМ

Белесый дым выхлопа дизельного двигателя появляется, как правило, при холодном пуске двигателя, поскольку белесый цвет дыма – это конденсированные капли топлива. Белесый дым на горячем двигателе свидетельствует о пропусках воспламенения дизельного топлива в цилиндре.

Наиболее вероятными причинами появления белесого дыма являются:

- Не действующая свеча/свечи накалывания;
- Низкая компрессия в цилиндрах/цилиндре двигателя;
- Некачественное распыление топлива инжектором;
- Утечка охлаждающей жидкости в камеру сгорания двигателя;

## СЕРЫЙ ИЛИ СИНИЙ ДЫМ

Синий выхлопной дым, как правило, является признаком горения моторного масла в цилиндре двигателя, которое происходит вследствие износа поршневых колец, наличия глубоких продольных борозд на стенках цилиндра, или износа маслосъемных колец.

Серый или синий дым может появиться вследствие неисправности инжектора/инжекторов.

## ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В большинстве случаев современный автомобиль может быть продиагностирован с помощью сканирующего инструмента, поскольку на дисплей сканера можно вывести информацию о работе датчиков и исполнительных устройств автомобиля, проверить работу электромагнитных клапанов, вывести актуальные параметры работы систем.

Наиболее распространенные неисправности включают в себя:

- Затрудненный запуск;
- Двигатель не запускается;

- Длительное вращение коленчатого вала перед появлением признаков работы двигателя;
- Низкая выходная мощность двигателя.

Используя сканирующий инструмент, следует проверить выходные сигналы датчиков, чтобы обнаружить возникшую проблему.

Обязательно проверьте уровень давления при пуске, если пуск затруднен или не происходит, и сравните полученное значение с минимально допустимым уровнем давления при пуске, определенном производителем транспортного средства.



Рисунок 19-45: Измерение уровня давления, создаваемого топливоподкачивающим насосом на 6,7 литровом дизельном двигателе Cummins; источник: *Pearson Education, Inc.*

## ПРОВЕРКА КОМПРЕССИИ

Проверка компрессии является неотъемлемой частью определения технического состояния дизельного двигателя. Износ поршневых колец может стать причиной снижения мощности и чрезмерной дымности работы дизельного двигателя (помутнения выхлопных газов).

Для проверки компрессии дизельного двигателя необходимо провести следующие операции:

- Снимите свечи накалывания (если имеются) или инжекторы.
- Используйте компрессометр или компрессограф, предназначенный для измерения компрессии в дизельном двигателе. Компрессометр, предназначенный для измерения компрессии в бензиновых двигателях не подходит, так как уровень давления в дизельном двигателе может быть выше возможностей измерительного прибора.

Компрессия (уровень давления) в цилиндре дизельного двигателя должна быть не менее 20 бар (2,068 кПа) давления сжатия, а разница давления во всех цилиндрах не должна превышать 3,5 бар (345 кПа).



Таблица 19-2: Примеры актуальных значений параметров могут быть получены с помощью сканирующего инструмента или в результате проведения базового теста оборудования. Всегда следует руководствоваться рекомендациями производителя транспортного средства.

КАРТА ВЫВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ	
<b>5.9 Dodge Cummins 2003–2008</b>	
Насос низкого давления	8–12 <i>PSI</i> ; 0,55...0,83 бар
Сила тока, потребляемого насосом	4 Ампера
Объемная подача	1,3 литра за 30 секунд
Насос высокого давления	5,000–23,000 <i>PSI</i> ; 345...1585 бар
Давление на режиме холостого хода	5,600–5,700 <i>PSI</i> ; 386...393 бара
Максимальное давление топлива, ограничиваемое <i>Electronic Fuel Control = EFC</i> = электронной системой управления топливopодачей	Отсоедините электронное управление топливopодачей ( <i>Electronic Fuel Control = EFC</i> ) для достижения максимального давления топлива
Напряжение на инжекторе	90 вольт
Сила тока, потребляемого инжектором	20 амперов
Сила тока, потребляемого свечей накаливания	60...80 амперов каждая
Минимальный уровень давления при пуске двигателя	5,000 <i>PSI</i> ; 345 бар
<b>GM Duramax 2001–2008</b>	
Разрежение, создаваемое топливopодаквивающим насосом	0,07...0,34 бара; 51...254 мм рт. ст.
Сила тока, потребляемого насосом	Не измеряется
Электрическое напряжение на клеммах насоса	Не измеряется
Насос высокого давления	345...1600...1800 бар
Давление на режиме холостого хода	5,000–6,000 <i>PSI</i> ; (30–40 МПа); 345...414 бар
Максимальный уровень давления, ограничиваемый <i>Fuel Rail Pressure Regulator = FRPR</i> = регулятором давления в топливной рампе	Для измерения уровня давления отсоедините электрический разъем от регулятора давления
Электрическое напряжение на инжекторе	48...93 вольта
Сила тока, потребляемого инжектором	20 амперов
Сила тока, потребляемого свечей накаливания	160 амперов
Минимальное давление при старте	1,500 <i>PSI</i> ; (10 МПа); 103 бара
<b>Sprinter 2.7 2002–2006</b>	
Топливopодаквивающий насос	6–51 <i>PSI</i> ; 0,4...3,5 бар
Насос высокого давления	800–23,000 <i>PSI</i> ; 55...1586 бар
Давление на режиме холостого хода	4,900 <i>PSI</i> ; 340 бар
Максимальный уровень давления, ограничиваемый <i>Fuel Rail Pressure Control = FRPC</i> = регулятором давления в топливной рампе	Подайте питание и соедините с заземлением клеммы регулятора давления в топливной рампе для измерения максимального уровня давления
Электрическое напряжение на инжекторе	80 вольт
Сила тока, потребляемого инжектором	20 амперов
Сила тока, потребляемого свечей накаливания	17 амперов каждая, или 85...95 амперов все вместе
Минимальное давление при старте	3,200 <i>PSI</i> ; (1–1,2 вольт для старта); 220 бар
<b>6.0 Powerstroke 2003–2008</b>	
Топливopодаквивающий насос	50–60 <i>PSI</i> ; 3,5...4,1 бар
Насос высокого давления	500–4,000 <i>PSI</i> ; 35...276 бар
Давление на режиме холостого хода	500 <i>PSI</i> ; 35 бар
Максимальное давление, ограничиваемое <i>Injection Pressure Regulator = IPR</i> = регулятором давления в инжекторе	Подайте напряжение и соедините с заземлением соответствующие клеммы регулятора
Электрическое напряжение на клеммах инжектора	48 вольт
Сила тока, потребляемого инжектором	20 амперов
Сила тока, потребляемого свечей накаливания	20...25 амперов каждая, или 160...200 амперов все вместе
Минимальное давление при старте	500 <i>PSI</i> ; (0,85 вольт); 35 бар

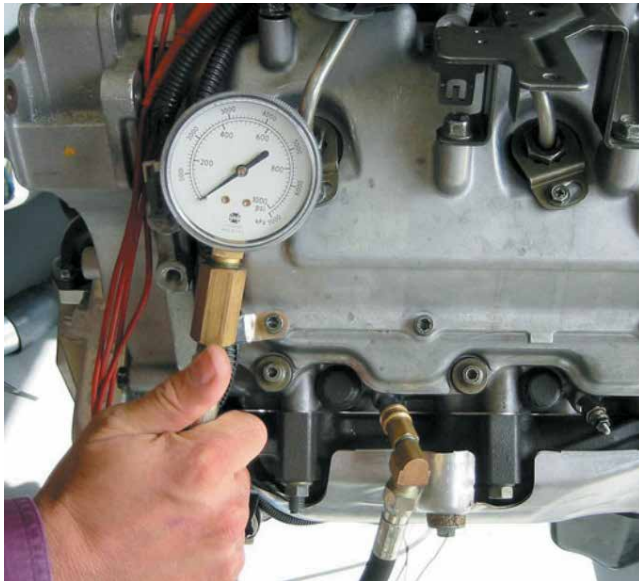


Рисунок 19-46: Измерение компрессии в цилиндрах дизельного двигателя должно производиться исключительно предназначенным для дизелей компрессометром или компрессографом; источник: *Pearson Education, Inc.*

### БАЛАНС ЦИЛИНДРОВ ИЗМЕРЕНИЕМ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕЧЕЙ НАКАЛИВАНИЯ

Электрическое сопротивление свечей накаливания увеличивается при увеличении их температуры. При проверке электрического сопротивления омметром все свечи накаливания должны иметь приблизительно равное значение сопротивления. Подобный тест на электрическое сопротивление свечей накаливания может быть полезен для выявления «слабого» цилиндра. Этот тест особенно важен для дизелей, управление которых не производится электроникой.

Тестирование цилиндрического баланса с использованием сопротивления свечей накаливания необходимо проводить на прогревом двигателе. Испытание проводится следующим образом:

1. На остановленном двигателе отключите электрические разъемы со всех свечей накаливания, и измерьте и запишите сопротивление каждой из них.
2. Не производя электрического присоединения снятых ранее проводов питания свечей накаливания, произведите запуск двигателя.
3. Запустите двигатель, и дайте ему поработать несколько минут, чтобы свечи накаливания прогрелись до рабочей температуры.
4. Произведите измерение электрического сопротивления каждой из свечей накаливания, и запишите полученные значения.
5. Сопротивление каждой из свечей накаливания должно увеличиться по сравнению с сопротивлением, измеренным на остановленном двигателе. Сопротивление свечи накаливания неработающего, или некачественно работающего цилиндра двигателя будет ниже электрического сопротивления свечей работающих цилиндров.
6. Проверку полученного результата можно произвести путем измерения температуры в области выходного порта

каждого из цилиндров инфракрасным термометром или пирометром. Выходной порт выпускного коллектора цилиндра, в котором происходят пропуски воспламенения, будет холоднее остальных.

### ПРОВЕРКА ДАВЛЕНИЯ НАЧАЛА ОТКРЫТИЯ РАСПЫЛИТЕЛЯ

Тестер начала открытия распылителя форсунки – это прибор, позволяющий определить давления начала открытия распылителя, и визуальной оценки качества распыления топлива форсункой. Нажимая на рукоятку тестера, можно оценить по прибору давление начала открытия распылителя.



Рисунок 19-47: Типичный тестер начала открытия распылителя форсунки дизельного двигателя позволяет произвести визуальную оценку качества распыления топлива; источник: *Pearson Education, Inc.*

Факел выходящего из распылителя топлива должен иметь одинаковую насыщенность по всей поверхности конуса, однако направление оси конуса может отклоняться от продольной оси распылителя, что обусловлено конструктивными особенностями камеры сгорания дизельного двигателя.

Распылитель топлива должен быть проверен на подтекание (образование капель на конце распылителя форсунки, находящейся под давлением). Если наблюдается подтекание топлива, или форма конуса распыления имеет неправильную форму, распылитель следует заменить.



#### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:**

*Для проверки формы факела истечения топлива из распылителя следует использовать картон.*

*Топливная аппаратура дизельного двигателя может нахо-*

даться под высоким давлением, даже при остановленном двигателе. Если Вы проводите проверку на утечку топливной системы, носите защитную спецодежду, очки, лицевой щиток, перчатки и рубашку с длинными рукавами.

Используйте картонный лист для обнаружения места утечки топлива, особенно находящегося в линиях высокого давления.

При работе современных топливных систем высокого давления, топливо может находиться в топливных линиях, рампе или в топливоподводящих трубках под давлением до 2500 бар. Распыленное под высоким давлением топливо невидимо, но может легко проникнуть через кожные покровы в живые ткани.

Проверяя место утечки с помощью картона, Вы легко заметите утечку по месту потемнения картона. После обнаружения места утечки, остановите двигатель, и найдите точку утечки на неработающем двигателе.



### **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОБ ОПАСНОСТИ:**

Истекающее из сопла топливо легко пробивает кожный покров. Ни в коем случае не проверяйте качество распыления, подставляя ладонь или палец. Это может привести к очень опасным последствиям, так как топливо, попавшее в живые ткани, вызывает некроз не только поврежденного струей места, но и далее по кровотоку. Возможным последствием проверки формы струи на ладонь чреват ампутацией руки или летальным исходом.

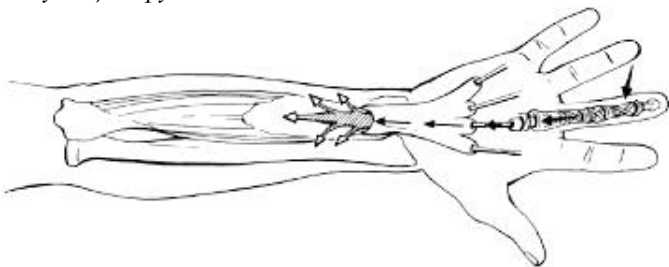
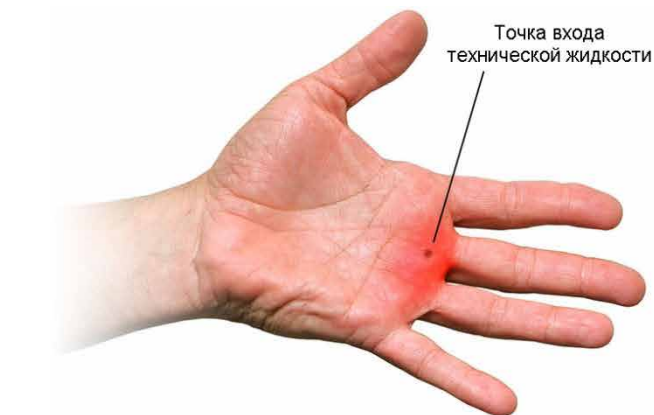


Рисунок 19-48: Топливо, или иная техническая жидкость, попавшая под кожу, быстро разнесется кровотоком по живым тканям.



### **РЕМАРКА:**

Более 9% инцидентов, связанных с нарушением безопасности при работе с гидравлическими системами, находящимися под давлением, приводят к серьезным травмам, а 1% этих инцидентов приводит к смерти. Стоимость лечения подобной травмы может превысить 750 000 \$. Срочное проведение хирургического вмешательства позволяет предотвратить инвалидность в 96% случаев. Однако срочное инструментальное определение локальной зоны скопления технической жидкости в живых тканях, позволяющее хирургам определить точное место скопления гидравлической жидкости под кожей, в Вашем регионе вряд ли производится. Быстро уехать на лечение за границу невозможно, поэтому предотвращение повреждения живых тканей техническими жидкостями, находящимися под давлением – залог Вашей безопасности.

## **ИСПЫТАНИЕ ЭМИССИИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

### **ТЕСТ НА ПОМУТНЕНИЕ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ**





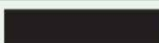
Наиболее распространенный тест дизельного автомобиля, который проводится во время государственного технического осмотра или при входной диагностике на станциях технического обслуживания является тест выхлопного газа дизельного автомобиля на помутнение. Помутнение (Opacity) означает долю света, выраженную в процентах, которая была поглощена примесями выхлопного газа во время проведения тестирования.

- 0% помутнения означает, что выхлопной газ невидим, и не блокирует лучи света, проецируемого через образец выхлопного газа, вводимого в тестер.
- 100% помутнение означает, что выхлопной газ полностью блокирует проходящий свет, проходящий через тестер.
- 50% помутнение означает, что свет, пропускаемый через тестер, теряет половину своей силы, поглощаясь примесями выхлопного газа.



Рисунок 19-49: Снимки, показывают безобидный внешний вид точки входа технической жидкости под кожу, и масштабы хирургического вмешательства, необходимого для спасения руки и жизни человека; источник: Alerton international LLC

Таблица 19-3: Тест на помутнение выхлопного газа используется во время проведения государственного технического осмотра для оценки технического состояния двигателя транспортного средства и его систем.

	20% затемнение
	40% затемнение
	60% затемнение
	80% затемнение
	100% затемнение

### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:**

#### **Не включаются инжекторы**

В недалеком прошлом обычной практикой проверки топливных форсунок была их перестановка из одного цилиндра в другой, чтобы проверить, является ли форсунка причиной отказа в работе цилиндра. Однако современные аккумуляторные системы впрыскивания дизельного топлива (Common Rail) комплектуются точно калиброванными инжекторами, которые нельзя переставлять при техническом обслуживании дизельного двигателя. Каждый инжектор имеет свою уникальную калибровочную маркировку.



Рисунок 19-50: На снимке ряд букв, нанесенных на корпус инжектора, означают калибровочное число данного инжектора; источник: Pearson Education, Inc.

### ТЕСТ НА РЕЗКОЕ УСКОРЕНИЕ

При испытании на резкое ускорение, автомобиль устанавливается неподвижно на противооткатные упоры, отпускают тормоза, включают нейтральную передачу, и производят резкое ускорение путем быстрого нажатия на педаль акселератора, при этом производится тестирование помутнения выхлопного газа. Этот тест проводится как минимум 6 раз, и три наиболее близкие по результатам последовательных измерений учитываются в виде среднего арифметического значения результатов измерений.

### ИСПЫТАНИЕ ПОМУТНЕНИЯ ВЫХЛОПНОГО ГАЗА ПРИ УСКОРЕНИИ АВТОМОБИЛЯ НА РОЛИКОВОМ СТЕНДЕ

Автомобиль, оснащенный коробкой передач с ручным переключением передач, устанавливается на роликовый стенд, и при включенной первой передаче производится разгон от минимальной частоты вращения до максимальной частоты вращения коленчатого вала. Во время испытаний производится отбор выхлопного газа для оценки максимального значения его помутнения.

### ТЕСТ НА УСКОРЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ, ОСНАЩЕННОГО АКПП (STALL ACCELERATION TEST)

Автомобиль, оснащенный автоматической трансмиссией, устанавливается неподвижно на противооткатные упоры, включается рабочая и стояночная тормозные системы, рычаг выбора диапазонов устанавливается в позицию «DRIVE». Педаль акселератора нажимается на непродолжительное время, и в момент разгона двигателя измеряется помутнение выхлопного газа.

Стандартное значение помутнения может меняться, в зависимости от марки и модели транспортного средства, тем не менее, помутнение выхлопного газа не должно оказаться более 40%.



### Краткое изложение изученного материала



#### **Ремарка:**

Термины и основные формулировки приведены на двух языках: английском и русском. Конечно же, Вы можете проигнорировать формулировки, приведенные на иностранном языке, однако, повседневная работа потребует знания языков, и часто Вам придется быть один-на-один с Manual Repair; неважно, в бумажном или электронном виде. Поэтому, рекомендуем Вам постепенно набираться опыта в переводе текста «с листа».

Работодатель крайне заинтересован в этом умении. Егонеинтересует, умеете ли Вы говорить, и понимать устную речь, сможете ли Вы «выжить» за рубежом, не зная языка. Ему важно только Ваше умение читать по-русски английские/немецкие тексты, и безошибочно находить необходимую информацию, установочные и регулировочные параметры, читать и понимать указания производителя транспортного средства.



### Термины, которые необходимо знать!

*Diesel exhaust particulate filter (DPF)* = Сажевый фильтр выхлопных газов дизельных двигателей  
*Diesel oxidation catalyst (DOC)* = Окислительный катализатор выхлопных газов дизельного двигателя  
*Differential pressure sensor (DPS)* = Датчик дифференциального давления  
*Direct injection (DI)* = Непосредственный (прямой) впрыск  
*Glow plug* = Свеча накаливания  
*Heat of compression* = Теплота от сжатия  
*High-pressure common rail (HPCR)* = Высокое давление в общей нагнетательной топливопроводной магистрали системы *Common Rail*  
*Hydraulic electronic unit injection (HEUI)* = Гидравлическая электронная насос-форсунка  
*Indirect injection (IDI)* = Непрямой впрыск топлива  
*Injection pump* = Впрыскивающий насос  
*Lift pump* = Всасывающий насос  
*Opacity* = Непрозрачность (помутнение)  
*Pop tester* = Тестер давления начала впрыскивания  
*Particulate matter (PM)* = Твердые частицы (в воздухе)  
*Regeneration* = Регенерация (восстановление)  
*Selective catalytic reduction (SCR)* = Селективная каталитическая нейтрализация  
*Soot* = Сажа (копоть)  
*Throttling losses* = Потери дросселирования (дроссельные потери)  
*Urea* = Мочевина  
*Water-fuel separator* = Топливный водоотделитель



### Основные формулировки и расшифровки понятий, применяемых в главе 19

(англоязычная версия изложения материала позволит Вам подготовиться к сертификации, а преподавателям иностранного языка подобрать тематику занятий, приближенную к изучаемому материалу).

**Замечание автора:** перевод дан с минимальной литературной обработкой

<i>The diesel engine uses heat created by compression to ignite the fuel, so it requires no spark ignition system.</i>	Дизельный двигатель использует тепло, создаваемое сжатием для воспламенения топлива, поэтому он не требует искровой системы зажигания.
--	--

<i>As the piston reaches the top of its compression stroke, fuel is injected into the cylinder, where it is ignited by the hot air.</i>	Когда поршень достигает верхней его ход сжатия, топливо впрыскивается в цилиндр, где оно воспламеняется от горячего воздуха.
<i>A diesel engine uses a fuel system with a precision injection pump and individual fuel injectors.</i>	Дизельный двигатель использует топливную систему с точно изготовленным насосом и индивидуальными топливными форсунками.
<i>Diesel engines must be constructed heavier than gasoline engines because of the tremendous pressures that are created in the cylinders during operation.</i>	Дизельные двигатели должны быть сконструированы массивнее бензиновых двигателей из-за огромного давления, которое создается в цилиндрах во время работы.
<i>The torque output of a diesel engine is often double or more than the same size gasoline-powered engines.</i>	Выходной крутящий момент дизельного двигателя часто вдвое или более, чем у того же размера бензиновых двигателей
<i>In a diesel engine, air is not controlled by a throttle as in a gasoline engine. Instead, the amount of fuel injected is varied to control power and speed.</i>	В дизельном двигателе, воздух не контролируется дросселем, как в бензиновом двигателе. Вместо этого, количество впрыскиваемого топлива варьируется для регулирования мощности и скорости.
<i>Adding more fuel to the cylinders of a gasoline engine without adding more air (oxygen) will not increase the speed or power of the engine. In a diesel engine, speed and power are not controlled by the amount of air entering the cylinders because the engine air intake is always wide open.</i>	Добавка больше топлива в цилиндры бензинового двигателя без добавления большего количества воздуха (кислорода) не увеличит скорость или мощность двигателя. В дизельном двигателе, скорость и мощность не регулируется количеством воздуха, поступающего в цилиндры, так как впуск воздуха в двигатель всегда широко открыт.
<i>In an indirect injection (abbreviated IDI) diesel engine, fuel is injected into a small prechamber, which is connected to the cylinder by a narrow opening.</i>	При косвенном впрыске (сокращенно IDI) дизельного двигателя, топливо впрыскивается в небольшую предкамеру, которая соединена с цилиндром через узкое отверстие.

<i>All indirect diesel injection engines require the use of a glow plug which is an electrical heater that helps start the combustion process.</i>	Все косвенные дизельные инжекторные двигатели требуют использования свечи накаливания, которая представляет собой электрический обогреватель, который помогает начать процесс сгорания.	<i>If a distributor-type injection pump is used, the fuel is forced out of the injection port to the correct injector nozzle through the high-pressure line.</i>	Если используется инжекционный насос распределительного типа, топливо вытесняется через инжекционный порт к соответствующей форсунке через магистраль высокого давления.
<i>In a direct injection (abbreviated DI) diesel engine, fuel is injected directly into the cylinder.</i>	В двигателе с прямой инъекцией (сокращенно DI), топливо впрыскивается непосредственно в цилиндр.	<i>Newer diesel engines use a fuel delivery system referred to as a high-pressure common rail (HPCR) design.</i>	Новые дизельные двигатели используют топливоподающую систему, известную, как под высоким давлением общий путь (HPCR) конструкцию.
<i>Direct injection diesel engines are generally more efficient than indirect injection engines, but have a tendency to produce greater amounts of noise.</i>	Дизельные двигатели с прямой инъекцией, как правило, более эффективны, чем косвенные инжекторные двигатели, но имеют тенденцию производить большее количество шума.	<i>Because the injectors are computer controlled, the combustion process can be precisely controlled to provide maximum engine efficiency with the lowest possible noise and exhaust emissions.</i>	Поскольку инжекторы управляются компьютером, процесс горения может точно контролироваться, чтобы обеспечить максимальную эффективность работы двигателя с наименьшим возможным уровнем шума и эмиссией выхлопных газов.
<i>The diesel fuel is usually drawn from the fuel tank by a separate pump, called a lift pump and delivers the fuel to the injection pump.</i>	Дизельное топливо обычно всасывается из топливного бака с помощью отдельного насоса, называемого подъемным насосом, который подает топливо к инжекционному насосу.	<i>Diesel injector nozzles are spring-loaded closed valves that spray fuel directly into the combustion chamber or precombustion chamber when the injector is opened.</i>	Дизель инжекционные форсунки являются закрытыми пружинными клапанами, которые распыляют топливо непосредственно в камеру сгорания или предварительную камеру сгорания, когда инжектор открыт.
<i>Between the fuel tank and the lift pump is a water-fuel separator.</i>	Между топливным баком и подъемным насосом установлен водяной сепаратор топлива	<i>The electric solenoid attached to the injector nozzle is computer controlled and opens to allow fuel to flow into the injector pressure chamber.</i>	Электрический соленоид, прикрепленный к форсунке, контролируется компьютером, и открывается, чтобы поставить поток топлива в камеры давления инжектора.
<i>Many diesel engines use a fuel temperature sensor. The computer uses this information to adjust fuel delivery based on the density of the fuel.</i>	Многие дизельные двигатели используют датчик температуры топлива. Компьютер использует эту информацию для регулировки подачи топлива в зависимости от плотности топлива.	<i>The high fuel pressure in the pressure chamber forces the needle valve upward, compressing the needle valve return spring and forcing the needle valve open.</i>	Высокое давление топлива в камере давления принуждает игольчатый клапан подниматься вверх, сжимая игольчатый клапан с возвратной пружиной, и заставляя открыться игольчатый клапан.
<i>A diesel engine injection pump is used to increase the pressure of the diesel fuel from very low values from the lift pump to the extremely high pressures needed for injection.</i>	Инжекционный насос дизельного двигателя используется для повышения давления дизельного топлива с очень низких значений из подъемного насоса до высокого давления, необходимого для инъекций.		

<i>When the needle valve opens, diesel fuel is discharged into the combustion chamber in a hollow cone spray pattern.</i>	Когда игольчатый клапан открывается, дизельное топливо поступает в камеру сгорания в виде полого конуса распыленного топлива.
<i>A glow plug is a heating element that uses 12 volts from the battery and aids in the starting of a cold engine by providing heat to help the fuel to ignite.</i>	Свечи накаливания – это нагревательный элемент, который использует 12-вольтовое напряжение от аккумулятора, и помогает в запуске холодного двигателя, обеспечивая теплом, чтобы помочь топливу воспламениться.
<i>Diesel fuel heaters help prevent power loss and stalling in cold weather. The heater is placed in the fuel line between the tank and the primary filter.</i>	Подогреватель дизельного топлива служит для предотвращения потери мощности и остановки двигателя в холодную погоду. Подогреватель располагается в топливной магистрали между баком и предварительным фильтром.
<i>Some light-truck diesel engines are equipped with an electronic throttle to control the amount of fuel injected into the engine.</i>	Некоторые легко-грузовые дизельные двигатели оснащены электронной дроссельной заслонки для регулирования количества топлива, впрыскиваемого в двигатель.
<i>A turbocharger greatly increases engine power by pumping additional compressed air into the combustion chambers.</i>	Турбокомпрессор значительно увеличивает мощность двигателя путем подкачки дополнительного сжатого воздуха в камеры сгорания.
<i>All currently produced light-duty diesels use an air charge cooler whose purpose is to cool the compressed air to further raise the air density.</i>	Все выпускаемые в настоящее время, легкие дизели используют охладитель воздушного заряда, целью которого является охлаждение сжатого воздуха для дальнейшего повышения плотности воздуха.

<i>The EGR system recycles some exhaust gas back into the intake stream to cool combustion, which reduces oxides of nitrogen (NOx) emissions.</i>	Система рециркуляции выхлопных газов перенаправляет некоторое количество выхлопных газов обратно во впускной поток для охлаждения сгорания, что снижает эмиссию оксидов азота (NOx) в атмосферу.
<i>Particulate matter (PM), also called soot, refers to tiny particles of solid or semisolid material suspended in the atmosphere.</i>	Под твердой частицей (PM), которая также называется сажей, упоминается мельчайшая частица твердых или полужидких материалов, взвешенных в атмосфере.
<i>Diesel oxidation catalysts (DOC) are used in all light-duty diesel engines, since 2007.</i>	Дизельным катализатором окисления (DOC) применяется на всех легких дизельных двигателях, начиная с 2007 года.
<i>Diesel exhaust particulate filters (DPFs) are used in all light-duty diesel vehicles, since 2007, to meet the exhaust emissions standards.</i>	Дизельные фильтры твердых частиц (DPFs) устанавливаются во всех легких дизельных автомобилях, начиная с 2007 года, чтобы отвечать стандартам эмиссии выхлопных газов.
<i>Selective catalytic reduction (SCR) is a method used to reduce NOx emissions by injecting urea into the exhaust stream.</i>	Селективное каталитическое восстановление (SCR) - это метод, используемый для уменьшения выбросов NOx путем введения карбамида в поток выхлопного газа.
<i>Urea is called diesel exhaust fluid (DEF) in North America and AdBlue in Europe.</i>	Мочевина называется Diesel Exhaust Fluid (DEF) в Северной Америке и AdBlue в Европе.
<i>The urea is injected into the catalyst where it sets off a chemical reaction which converts nitrogen oxides (NOx) into nitrogen (N<sub>2</sub>) and water (H<sub>2</sub>O).</i>	Мочевину вводят в катализатор, где она участвует в химической реакции, которая преобразует оксиды азота (NOx) в азот (N <sub>2</sub> ) и воду (H <sub>2</sub> O).



## Вопросы для контроля усвоения пройденного материала



### Ремарка:

Предложенные Вашему вниманию вопросы рекомендованы преподавателям для оценки Вашей самостоятельной работы с учебным материалом перед началом выполнения лабораторных и практических занятий.

### Обдумайте содержание вопросов и попытайтесь дать короткий ответ

1. Объясните, в чем состоит разница между прямым и непосредственным впрыскиванием дизельного топлива?
2. Опишите процессы, происходящие в трех фазах горения дизельного топлива.
3. Расскажите об основных особенностях и принципах действия двух наиболее распространенных современных систем впрыскивания дизельного топлива.
4. Объясните, почему после запуска двигателя свечи накаливания продолжают работать?
5. Какие дополнительные мероприятия потребовались после введения ограничений эмиссии вредных выбросов, принятых в 2007 году?
6. Перечислите основные преимущества и недостатки системы селективного каталитического восстановления.
7. Перечислите основные неисправности дизельного двигателя, которые могут вызвать повышенную эмиссию черного дыма, выходящего из выхлопной трубы при работе двигателя под нагрузкой.
8. Перечислите основные неисправности, которые могут вызвать появление белесого дыма при работе двигателя на режиме холостого хода.
9. Перечислите основные неисправности, которые могут вызвать эмиссию синего или серого дыма при работе дизельного двигателя.
10. Объясните, почему у современного двигателя неисправность инжектора нельзя определять перестановкой инжекторов в цилиндрах двигателя.



## Изучите и отметьте только те из приведенных рассуждений, которые Вы сочтете верными.

1. Каким образом происходит воспламенение топлива в горячем двигателе?

A.	Свечами накаливания	
B.	Теплотой от сжатия	
C.	Свечей зажигания	
D.	Системой зажигания без распределителя	

2. Какой тип дизельного впрыскивания производит меньше шума при его работе?

A.	Непрямой впрыск топлива	
B.	Непосредственный впрыск топлива	
C.	Аккумуляторная система (Common Rail) впрыскивания топлива	
D.	Впрыскивание топлива насос-форсункой	

3. В каком типе впрыскивания дизельного топлива использование свечей накаливания обязательно?

A.	Непрямой впрыск топлива	
B.	Непосредственный впрыск топлива	
C.	Аккумуляторная система (Common Rail) впрыскивания топлива	
D.	Впрыскивание топлива насос-форсункой	

4. Три фазы горения топлива в цилиндре дизельного двигателя включают в себя:

A.	Воспламенение свечей накаливания, быстрое распространение пламени, медленное горение	
B.	Медленное воспламенение, быстрое горение, медленное догорание	
C.	Задержка воспламенения, быстрое распространение пламени, управляемое горение	
D.	Воспламенение свечей накаливания, задержка воспламенения, управляемое горение	



5. Какой из перечисленных ниже компонентов применяется на автомобилях, оснащенных исключительно дизельными двигателями, и не используются на бензиновых автомобилях?

A.	Топливный фильтр	
B.	Линия подачи топлива	
C.	Линия возврата топлива	
D.	Водо-топливный сепаратор	

6. Топливный насос высокого давления обычно приводится в действие посредством...

A.	Зубчатой передачей от распределительного вала	
B.	Зубчатым ремнем от коленчатого вала	
C.	Приводным валом от коленчатого вала	
D.	Цепной передачей от распределительного вала	

7. В какой из перечисленных ниже систем дизельное топливо под высоким давлением подается к инжекторам непрерывно?

A.	В системе, оснащенной ТНВД распределительного типа	
B.	В системе, оснащенной ТНВД рядного типа	
C.	В аккумуляторной системе <i>Common Rail</i>	
D.	В системе, оснащенной насос-форсунками	

8. Какое из приведенных ниже утверждений верно?

A.	Свечи накалывания в холодном состоянии имеют высокое сопротивление, но при нагреве их сопротивление снижается	
B.	Свечи накалывания в холодном состоянии имеют низкое сопротивление, но при нагреве их сопротивление увеличивается	
C.	Влажные свечи накалывания имеют высокое сопротивление, а сухие свечи имеют низкое сопротивление.	
D.	Влажные свечи накалывания имеют низкое сопротивление, а сухие свечи имеют высокое сопротивление	

9. Техник А утверждает, что свечи накалывания используются только для облегчения холодного пуска двигателя.

Техник В утверждает, что свечи накалывания используются не только при запуске холодного, но и при запуске горячего двигателя, однако подача напряжения на свечи накалывания немедленно отключается после запуска двигателя.

Только А			Оба правы, и А и В	
Только В			Оба неправы, ни А, ни В	

10. Какие компоненты должны быть сняты с двигателя для измерения компрессии в цилиндрах?

A.	Инжектор и свеча накалывания	
B.	Свеча накалывания или инжектор	
C.	Впускной клапан, коромысло и привод клапана	
D.	Привод топливного насоса высокого давления.	

Материалы перевел, актуализировал и подготовил к публикации Дмитрий Титаренко

В основу положены следующие материалы:

1. Учебник *James D. Halderman Automotive Technology; Principles, Diagnosis, and Service*, 2012, *Pearson Education, Inc.*
2. Учебник *Gerigk, Brhun, Danner, Endruschat, Göbert, Gross, Kommol; Kraftfahrzeugtechnik*, 2005