

# Аккумуляторная топливная система Common Rail

## Обзор топливных систем

### Области применения

Создание в 1927 году первого серийного многоплунжерного рядного ТНВД обозначило начало промышленного производства дизельных топливных систем фирмой Bosch. Основной областью применения рядных многоплунжерных ТНВД до сих пор остаются дизели различных размерностей для коммерческих автомобилей, стационарные, тепловозные и судовые дизели. Топливные системы, обеспечивающие давление впрыска топлива до 1350 бар, используются для достижения цилиндровой мощности порядка 160 кВт/цилиндр.

С течением лет широкий спектр требований, связанных, в частности, с установкой дизелей с непосредственным впрыском топлива (DI) на небольшие коммерческие и легковые автомобили, привел к созданию различных дизельных топливных систем, соответствующих требованиям конкретного применения. Наиболее важными достижениями, связанными с созданием таких систем, являются не только увеличение удельной мощности двигателей, но также снижение расхода топлива, уровня шума и эмиссии вредных веществ с ОГ.

По сравнению с обычными топливными системами (ТНВД с кулачковым приводом), топливная система Bosch "Common Rail" (CR) для дизелей с непосредственным впрыском топлива обеспечивает значительно более высокую гибкость при адаптации топливной системы к двигателю, как например:

- широкая область применения (легковые и легкие коммерческие автомобили с цилиндровой мощностью до 30 кВт/цилиндр, как и форсированные автомобильные, тепловозные и судовые дизели цилиндровой мощностью до 200 кВт/цилиндр);
- высокое давление впрыска до 1400 бар;
- переменный угол опережения впрыска;
- возможность формирования процесса двухфазного и многофазного впрыска;
- соответствие давления впрыска скоростному и нагрузочному режимам.

### Принцип работы

Создание давления и непосредственный процесс впрыска в аккумуляторной топливной системе CR полностью разделены. Высокое давление в топливной системе создается независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя и количества впрыскиваемого топлива. Топливо, готовое для впрыска, находится под высоким давлением в аккумуляторе. Количество впрыскиваемого топлива (цикловая подача) определяется действиями водителя, а угол опережения и давление впрыска определяются электронным блоком управления (ЭБУ) на основе программируемых матриц характеристик, хранящихся в памяти микропроцессора. ЭБУ выдает управляющий пусковой сигнал на соответствующие электромагнитные клапаны, в результате чего осуществляется впрыск форсункой в каждый цилиндр. Аккумуляторная топливная система CR включает в себя следующие элементы электронного управления:

- ЭБУ;
- датчик частоты вращения коленчатого вала;
- датчик частоты вращения распределительного вала;
- датчик положения педали акселератора;
- датчик давления наддува;
- датчик давления в аккумуляторе;
- датчик температуры охлаждающей жидкости;
- массовый расходомер воздуха.

Используя входные сигналы указанных выше датчиков, ЭБУ регистрирует положение педали акселератора и определяет на данный момент времени рабочую характеристику двигателя и автомобиля как единого целого. На основе полученной информации ЭБУ может через разомкнутые и замкнутые контуры осуществлять управляющие действия с автомобилем и, особенно, с двигателем. Частота вращения двигателя измеряется датчиком частоты вращения коленчатого вала, а порядок чередования вспышек - датчиком частоты вращения (положения) распределительного вала. Электрический сигнал, образующийся на потенциометре педали акселератора, информирует ЭБУ о том, как сильно водитель нажал на педаль, другими словами - о его требованиях к величине крутящего момента.

Массовый расходомер воздуха обеспечивает ЭБУ данными о мгновенном расходе воздуха, чтобы адаптировать процесс сгорания соответственно нормам эмиссии вредных веществ с ОГ. Если на двигателе с турбонаддувом установлен турбокомпрессор с регулируемым давлением наддува, то измерение последнего осуществляется датчиком давления наддува. При низких температурах окружающей среды и при холодном двигателе ЭБУ использует информацию датчиков температуры охлаждающей жидкости и температуры воздуха, чтобы адаптировать полученные данные для установки угла опережения впрыска, использования дополнительного впрыска (после основного) и других параметров в зависимости от эксплуатационных условий. В зависимости от конкретного автомобиля, для того чтобы удовлетворять повышенным требованиям к безопасности и комфорту, могут использоваться другие датчики, посылающие сигналы в ЭБУ.

На рисунке 2 показана схема четырехцилиндрового дизеля, оснащенного аккумуляторной топливной системой CR.

## Основные функции

Основные функции системы заключаются в правильном управлении процессом

впрыска дизельного топлива в нужный момент и в требуемом количестве, а также при необходимом давлении впрыска. Это обеспечивает плавную и экономичную работу дизеля.

## Дополнительные функции

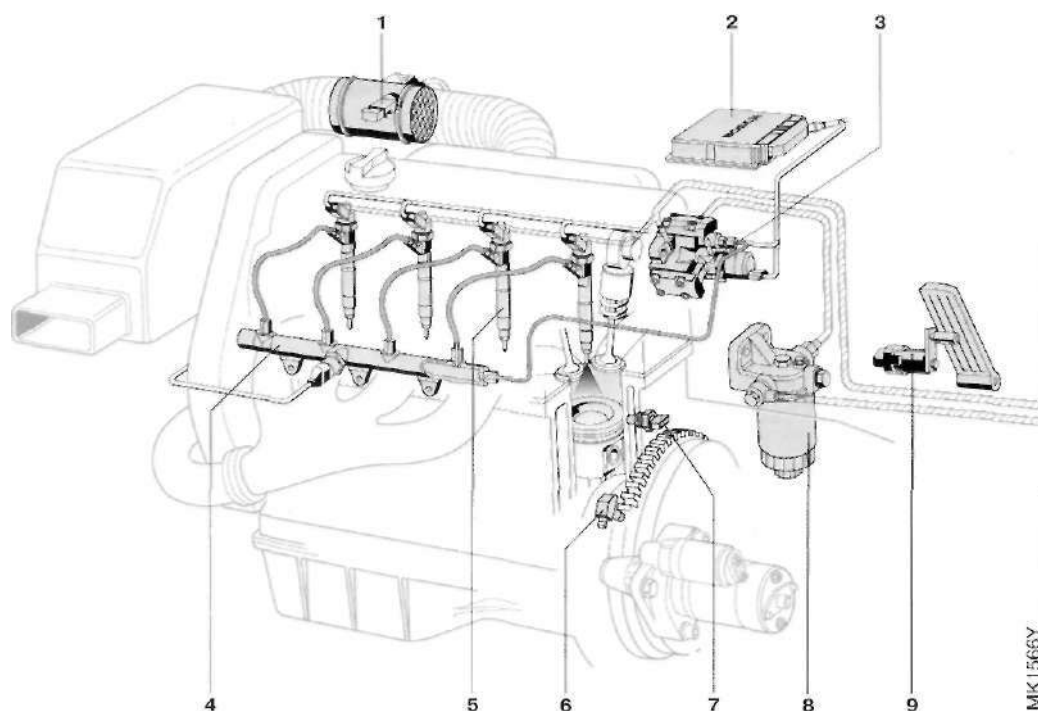
Дополнительные функции управления с учетом и без учета обратной связи служат для улучшения характеристик по снижению эмиссии вредных веществ с ОГ и расхода топлива или используются для повышения безопасности, комфорта и удобства управления. В качестве примеров можно привести систему рециркуляции ОГ, регулирование давления наддува, систему поддержания постоянной скорости автомобиля (Cruise Control), электронный иммобилайзер.

Система передачи данных CAN позволяет проводить обмен данными между различными электронными системами автомобиля (например, антиблокировочной системой тормозов (ABS), системой управления коробкой передач). При проверке автомобиля в автосервисе диагностический интерфейс позволяет проводить оценку данных, хранящихся в памяти электронной системы управления.

Рис. 2

### Схема расположения аккумуляторной топливной системы Common Rail на четырехцилиндровом дизеле

1 - массовый расходомер воздуха, 2 - ЭБУ, 3 - ТНВД, 4 - аккумулятор топлива высокого давления, 5 - форсунки, 6 - датчик частоты вращения коленчатого вала, 7 - датчик температуры охлаждающей жидкости, 8 - топливный фильтр, 9 - датчик положения педали акселератора.



## Характеристики впрыска топлива

### Характеристики впрыска в традиционных топливных системах

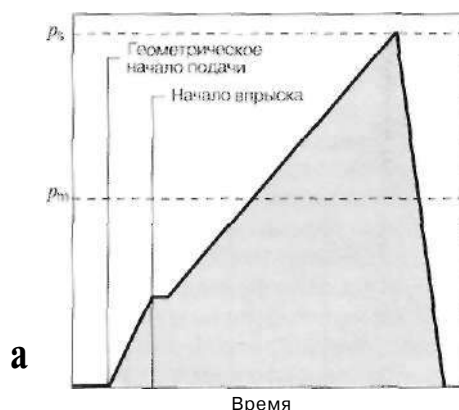
В традиционных топливных системах, использующих многоплунжерные рядные или ТНВД распределительного типа, характеристика впрыска топлива включает в себя только один главный впрыск, без предварительного и вторичного, то есть является однофазным (рис. 3). В ТНВД распределительного типа с электромагнитным клапаном управления подачей может быть обеспечена организация двухфазного впрыска с фазой предварительного впрыска. В традиционных топливных системах дизелей процессы создания высокого давления и обеспечения требуемой подачи топлива связаны между собой работой кулачкового привода и плунжера (плунжеров) ТНВД. Это оказывает следующее влияние на характеристики впрыска:

- давление впрыска увеличивается с увеличением частоты вращения и цикловой подачи;
- в период процесса впрыска давление впрыска увеличивается и затем падает при посадке иглы форсунки на седло. Следствиями такого процесса являются:
- меньшее количество топлива впрыскивается при меньшем давлении, по сравнению с впрыском большого количества топлива (рис. 3);
- максимальная величина давления (пик кривой давления) более чем в два раза превышает среднее давление впрыска;

Рис. 3

#### Характеристика давления впрыска в традиционных топливных системах

$p_r$  - среднее давление впрыска,  $p_s$  - максимальное давление впрыска.



- в соответствии с требованиями для эффективного сгорания топлива кривая давления впрыска является практически треугольной.

Максимальная величина давления впрыска является решающим фактором, определяющим нагрузку на ТНВД и его компоненты. Для топливной системы в целом это важно с точки зрения качества топливовоздушной смеси, образующейся в камере сгорания.

### Характеристики впрыска в топливной системе Common Rail

По сравнению с традиционными топливными системами, для получения идеальных характеристик впрыска к топливной системе CR предъявляются следующие требования:

- независимо друг от друга величина подачи (количество впрыскиваемого топлива) и давление впрыска топлива должны определяться для всех эксплуатационных условий работы двигателя (что обеспечивает свободу достижения идеального состава топливовоздушной смеси);
- в начале процесса впрыска величина подачи должна быть по возможности минимальной (предварительный впрыск в период задержки воспламенения между началом впрыска и началом сгорания).

Эти требования выполняются в аккумуляторной топливной системе CR с двухфазным впрыском (рис. 4 и 6).

Топливная система Common Rail является модульной системой, и следующие ее компоненты являются ответственными за обеспечение характеристик впрыска:

Рис. 4

#### Характеристика давления впрыска в топливной системе Common Rail

$p_m$  - среднее давление впрыска,  $p_v$  - давление в аккумуляторе.

Предварительный впрыск  
Р Основной впрыск

g PR  
·o (An)

⇒5

Время

- форсунки с электромагнитным управлением, установленные в головке блока цилиндров;
- аккумулятор топлива;
- ТНВД.

Для обеспечения работы топливной системы также требуются следующие компоненты:

- электронный блок управления (ЭБУ);
- датчик частоты вращения коленчатого вала;
- датчик частоты вращения распределительного вала (фазовый датчик).

В топливных системах дизелей легковых автомобилей для создания высокого давления топлива используются радиально-плунжерные ТНВД. Процесс создания высокого давления в системе CR осуществляется независимо от процесса впрыска. Привод вала ТНВД осуществляется непосредственно от коленчатого вала двигателя с постоянным передаточным отношением. Тот факт, что подача топлива в аккумулятор является равномерной, означает, что по сравнению с обычными топливными системами, ТНВД в системе Common Rail имеет значительно меньшие размеры, а также то, что его привод не подвергается высоким нагрузкам от сил давления.

Форсунки соединяются с аккумулятором топлива короткими трубками линии высокого давления и, что особенно важно, включают в себя электромагнитный клапан, который включается в работу по сигналу ЭБУ в момент начала впрыска. Впрыск прекращается при обесточивании электромагнитного клапана по сигналу ЭБУ. Поскольку в топливной системе поддерживается постоянное высокое давление топлива в аккумуляторе, величина подачи является прямо пропорциональной периоду времени работы электромагнитного клапана (дозирование временем открытия форсунки). Этот процесс абсолютно не зависит от частоты вращения вала двигателя или ТНВД.

Требуемая быстрота срабатывания электромагнитного клапана достигается использованием электропитания с высокими напряжениями и токами. Это означает, что фаза пуска электромагнитного клапана должна быть соответствующим образом спроектирована в ЭБУ.

Величина угла опережения впрыска контролируется соответствующей системой, предусмотренной в системе электронного управления дизелей (EDC). Для этого в системе используются датчики частоты вращения коленчатого вала и положения распределительного вала.

#### Предварительный впрыск топлива

Угол опережения предварительного впрыска (запальной порции топлива) может

составить  $90^\circ$  по углу поворота коленчатого вала (п.к.в.) до ВМТ. Если угол опережения впрыска оказывается меньше  $40^\circ$  п.к.в. до ВМТ, то капли топлива могут осаждаться на поверхности поршня и стенках цилиндра, что может привести к разжижению моторного масла.

При наличии предварительного впрыска в камеру сгорания впрыскивается небольшое количество дизельного топлива ( $1...4 \text{ мм}^3$ ), что приводит в результате к улучшению эффективности сгорания, а также к достижению следующих показателей:

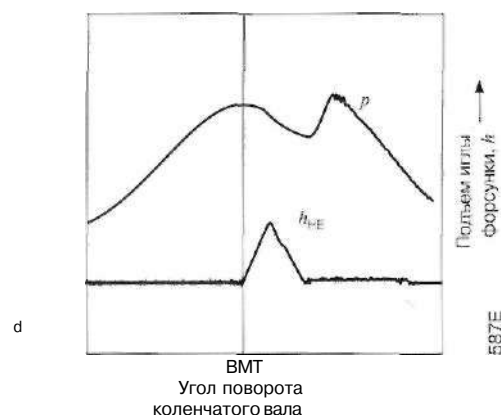
- благодаря началу реакций горения давление сжатия немного увеличивается, что, в свою очередь, приводит к уменьшению периода задержки воспламенения после основного впрыска;
- процесс сгорания протекает более мягко как результат уменьшения максимального давления сгорания (уменьшается жесткость процесса сгорания).

Такое протекание рабочего процесса снижает шум процесса сгорания, уменьшает расход топлива и во многих случаях снижает эмиссию вредных веществ с ОГ. В случае однофазного впрыска, без использования предварительного впрыска, имеет место плавный подъем кривой давления впрыска непосредственно перед ВМТ и относительно резкий подъем, максимальный пик давления после ВМТ (рис. 5). Такой резкий подъем давления в цилиндре способствует появлению значительного шума сгорания дизеля. Как показано на характеристике изменения давления в цилиндре (рис. 6), использование предварительного впрыска топлива приводит к тому, что давление вблизи ВМТ достигает более высокого значения, и дальнейшее повышение давления сгорания

*Характеристики  
впрыска  
топлива*

Рис. 5

**Характеристика изменения давления в цилиндре двигателя и подъема иглы форсунки по частоте вращения коленчатого вала при отсутствии предварительного впрыска топлива**  
ЛНЕ подъем иглы форсунки в основном впрыске.



оказывается более плавным, чем в предыдущем случае.

Поскольку при двухфазном впрыске топлива уменьшается период задержки воспламенения, то можно сказать, что предварительный впрыск вносит косвенный вклад в формирование кривой крутящего момента двигателя. При этом удельный эффективный расход топлива может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от величины угла опережения основного впрыска и от периода между предварительным и основным впрысками.

### Основной впрыск

Энергия для получения мощности двигателя происходит от основного впрыска топлива. Это также означает, что исключительно основной впрыск обеспечивает развитие крутящего момента двигателя. В аккумуляторной топливной системе CR давление впрыска в течение всего процесса впрыска остается практически постоянным.

### Вторичный впрыск топлива

Вторичный впрыск топлива может применяться для снижения эмиссии NOx при установке на двигатель некоторых версий каталитических нейтрализаторов. Этот впрыск следует за основным и происходит во время процесса расширения с интервалом до 200 градусов п.к.в. после ВМТ. При вторичном впрыске в цилиндр, уже при наличии ОГ, вводится точно дозированное количество топлива.

В отличие от процессов предварительного и основного впрысков, дополнительно впрыскиваемое топливо на линии расширения не

воспламеняется, но, благодаря теплу ОГ, хорошо в них испаряется. Во время такта выпуска образовавшаяся смесь ОГ и топлива удаляется из цилиндра через выпускной клапан в выпускную систему, при этом часть топлива возвращается в цилиндр через систему рециркуляции ОГ и производит, таким образом, эффект, подобный предварительному впрыску. При условии установки соответствующего каталитического нейтрализатора NOx дополнительная доза топлива используется в ОГ как агент, снижающий содержание NOx в ОГ.

Поскольку слишком поздний вторичный впрыск может приводить к разбавлению масла, такой процесс впрыска должен быть одобрен производителем двигателя.

## Снижение токсичности ОГ

### Образование топливовоздушной смеси и процесс сгорания

По сравнению с бензиновыми двигателями, в дизелях происходит сгорание топлива с низкой испаряемостью (высокой температурой кипения), а процесс образования топливовоздушной смеси происходит не только в период задержки воспламенения, но также во время протекания процесса сгорания. В результате топливовоздушная смесь не является полностью гомогенной. Рабочий процесс дизелей протекает при значениях коэффициента избытка воздуха ( $\lambda$ ) больше единицы, а при недостатке избыточного воздуха увеличиваются расход топлива и эмиссия частиц сажи, CO и CH.

Образование топливовоздушной смеси определяется следующими факторами:

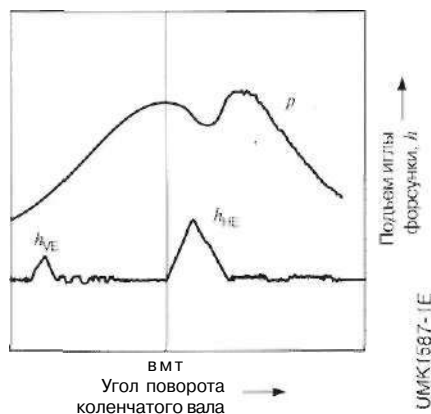
- давлением впрыска;
- продолжительностью процесса впрыска;
- факелом распыливания топлива (числом сопловых отверстий, размером факелов распыливания, направлением струи топлива);
- углом опережения впрыска;
- структурой потока воздуха в камере сгорания;
- массой воздуха.

Указанные факторы оказывают влияние на эмиссию вредных веществ с ОГ и на расход топлива. Высокая температура сгорания и высокий уровень концентрации кислорода приводят к увеличению образования NOx. Увеличение эмиссии сажи, наоборот, происходит при недостатке кислорода и плохом перемешивании топлива с воздухом.

РИС. 6

**Характеристика изменения давления в цилиндре двигателя и подъема иглы форсунки по частоте вращения коленчатого вала при наличии предварительного впрыска топлива**

/Л/Е подъем иглы форсунки во время предварительного впрыска, ЛНЕ подъем иглы форсунки во время основного впрыска.



## Измерения на двигателе

Положительный эффект на снижение эмиссии вредных веществ с ОГ дают правильный выбор формы камеры сгорания и впускного канала. Если газодинамическая структура потока в камере сгорания тщательно подобрана и соответствует форме факела распыливания топлива, то происходит эффективное перемешивание воздуха и топлива и, следовательно, полное сгорание впрыскиваемого топлива. Кроме того, положительный эффект достигается при гомотенном смешении воздуха с ОГ и охлаждении тракта рециркуляции ОГ. Двигатели с четырьмя клапанами на цилиндр и турбонаддув с регулируемой геометрией турбины (VTG - Variable-turbine geometry) также вносят свой вклад в снижение эмиссии вредных веществ и повышение мощности двигателя.

## Рециркуляция отработавших газов (EGR)

Без системы рециркуляции ОГ эмиссия NOx оказывается выше установленных законодательных норм, в то время как эмиссия сажи оказывается в пределах, предусмотренных нормами. Рециркуляция ОГ (EGR - Exhaust-gas recirculation) - это метод снижения эмиссии NOx без существенного увеличения образования сажи в двигателе. Это обстоятельство может быть весьма эффективно применено в дизелях с аккумуляторной топливной системой CR благодаря прекрасной возможности достижения почти идеальной топливовоздушной смеси как результата высокого давления впрыска. В системе рециркуляции ОГ на режимах частичных нагрузок часть ОГ направляется во впускной коллектор. Это не только уменьшает содержание кислорода в камере сгорания, но также влияет на протекание процесса сгорания и снижает максимальную температуру во фронте пламени, в результате чего происходит снижение эмиссии NOx. Однако, при слишком большой степени рециркуляции, превышающей 40% от объема воздуха на впуске, происходит увеличение эмиссии сажи, CO, OH и увеличение расхода топлива из-за недостатка кислорода.

## Влияние показателей впрыска топлива

На топливную экономичность и эмиссию вредных выбросов с ОГ дизеля оказывают существенное влияние величина угла опережения впрыска, характеристика впрыска

(форма характеристики давления впрыска) и тонкость распыливания топлива.

### Угол опережения впрыска

При небольших углах опережения впрыска, то есть при позднем впрыске, процесс сгорания протекает при низких температурах, что снижает эмиссию NOx, однако, если угол опережения впрыска слишком мал, то увеличиваются выброс углеводородов CH и расход топлива, как и эмиссия сажи на режимах больших нагрузок. При отклонении угла опережения впрыска от оптимального только на один градус п.к.в. эмиссия NOx может увеличиться на 5%. Отклонение угла на два градуса п.к.в. в сторону опережения впрыска может привести к увеличению максимального давления сгорания на 10 бар, а отклонение угла на два градуса п.к.в. в сторону запаздывания приводит к увеличению температуры отработавших газов на 20°C. Такая высокая чувствительность требует очень точного регулирования угла опережения впрыска.

### Характеристика давления впрыска

Кривая характеристики давления впрыска определяет изменение количества впрыскиваемого топлива в течение одного цикла (от начала впрыска, то есть от момента начала подъема иглы форсунки, до конца впрыска). Характеристика давления впрыска определяет также количество топлива, впрыскиваемого в период задержки воспламенения (от начала впрыска до начала процесса сгорания), а поскольку это оказывает влияние на распределение топлива по камере сгорания, то также влияет на эффективность использования воздуха в процессе сгорания.

Кривая характеристики давления впрыска должна иметь плавный подъем, для чего подача топлива в период задержки воспламенения должна быть сведена к минимуму. Эта порция топлива моментально сгорает, как только начинается воспламенение, с сопутствующими негативными эффектами по шумности двигателя и эмиссии NOx. Кривая характеристики давления должна резко "падать", для того чтобы предотвратить плохое качество распыливания топлива, ведущее к увеличению эмиссии CH и сажи и увеличению расхода топлива в финальной фазе процесса сгорания.

### Распыливание топлива

Тонкость распыливания топлива способствует эффективному перемешиванию воздуха с топливом, что обеспечивает снижение эмиссии углеводородов и сажи. Хорошее качество распыливания топлива обеспечивается

*Снижение токсичности отработавших газов*

высоким давлением впрыска и оптимальной геометрической конфигурацией сопловых отверстий в распылителе форсунки. Чтобы предотвратить видимый выброс сажи с ОГ, количество впрыскиваемого топлива должно соответствовать расходу воздуха, что предусматривает количество избыточного воздуха, по крайней мере, на 10 - 40% ( $X = 1,1-1,4$ ). Как только игла форсунки садится на седло, топливо в сопловых отверстиях может испаряться (в случае распылителей с подгольным объемом топливо испаряется в этом объеме), и эмиссия углеводородов СН в процессе увеличивается. Это означает, что такие вредные объемы должны быть сведены к минимуму.

## Топливная система

Аккумуляторная топливная система Common Rail включает в себя ступень низкого давления, ступень высокого давления и ЭБУ. Схема топливной системы CR показана на рис. 7.

### Создание низкого давления

Ступень низкого давления в топливной системе CR включает в себя:

- топливный бак (1) с фильтром-топливоприемником (2);

- топливоподкачивающий насос (3);
- фильтр тонкой очистки топлива (4);
- трубопроводы линии низкого давления (5).

### Топливный бак

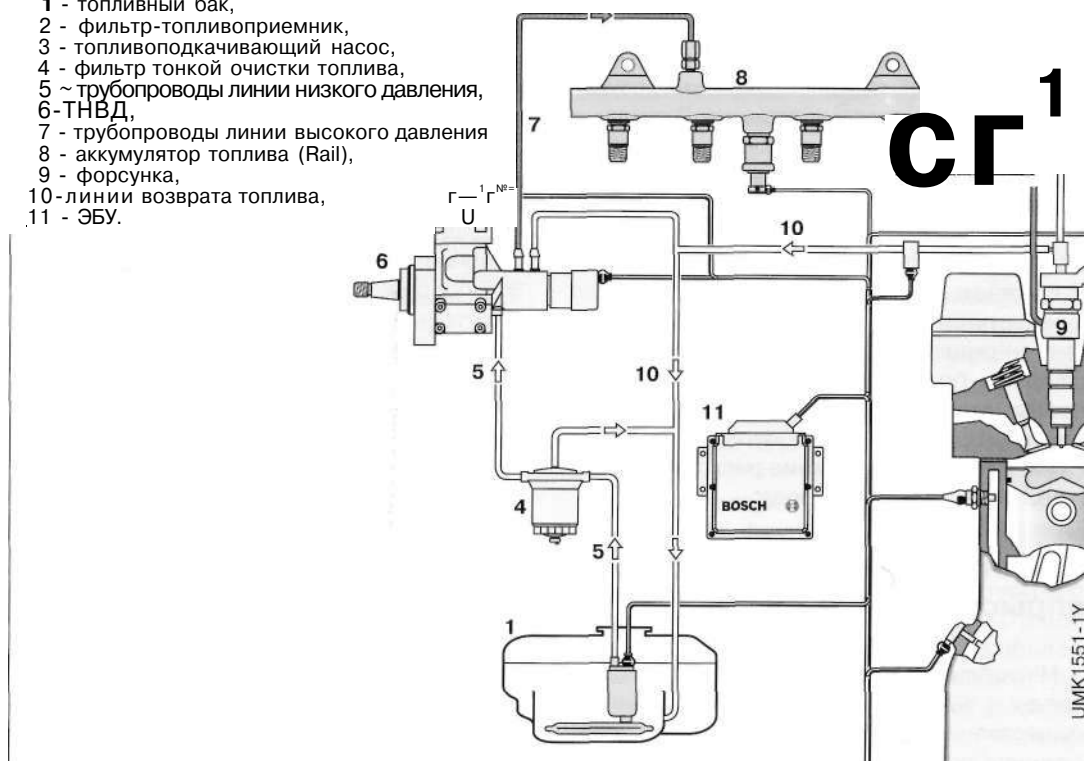
Как следует из его названия, топливный бак служит для хранения топлива. Он должен быть выполнен из материала, устойчивого к коррозии, и не иметь утечек топлива даже при давлении, в два раза превышающем рабочее, но по крайней мере при превышении давления на 0,3 бар. Топливный бак должен быть оснащен предохранительными клапанами, чтобы сбрасывать избыточное давление. Не должно быть утечек топлива ни после топливозаливной горловины, ни через устройства выравнивания давления. Это также относится к случаям воздействия неровностей дороги, поворотам (закруглениям дороги) или наклонным положениям автомобиля.

Топливный бак и двигатель должны отстоять достаточно далеко один от другого, чтобы в случае аварии была исключена опасность пожара. Это не относится к тракторам с открытой кабиной, мотоциклам и мопедам. Для транспортных средств с открытой кабиной, тракторов и автобусов принимаются специальные правила, касающиеся расположения топливных баков и защитных экранов.

Рис. 7

#### Схема аккумуляторной топливной системы Common Rail

- 1 - топливный бак,
- 2 - фильтр-топливоприемник,
- 3 - топливоподкачивающий насос,
- 4 - фильтр тонкой очистки топлива,
- 5 - трубопроводы линии низкого давления,
- 6 - ТНВД,
- 7 - трубопроводы линии высокого давления,
- 8 - аккумулятор топлива (Rail),
- 9 - форсунка,
- 10 - линии возврата топлива,
- 11 - ЭБУ.



### Трубопроводы линий низкого давления топлива

В качестве альтернативы стальным трубкам, в линиях низкого давления могут использоваться пламезащитные армированные гибкие шланги. Они должны быть защищены от механических повреждений и проложены таким образом, чтобы исключить возможность появления капель или испарения топлива, скапливающегося на нагретых деталях, где оно может воспламениться.

В случае деформирования кузова при аварии или перемещении двигателя не должны иметь место разрушающие последствия топливной системы. Все трубопроводы топливной системы должны быть защищены от нагрева. В автобусах топливные трубопроводы не должны располагаться в пассажирском салоне или в кабине водителя, и не должна осуществляться подача топлива под действием сил тяжести.

### Компоненты ступени низкого давления

#### Подкачивающий насос

Подкачивающий насос может быть либо электрическим с фильтром-топливоприемником, либо шестеренчатым. Насос забирает топливо из топливного бака и непрерывно подает его в необходимом количестве в насос высокого давления.

#### Фильтр тонкой очистки топлива

Недостаточная фильтрация топлива может привести к повреждению элементов ТНВД, нагнетательных клапанов и форсунок. Топливный фильтр очищает топливо до его поступления в ТНВД и, таким образом, предотвращает преждевременный износ прецизионных деталей ТНВД.

### Создание высокого давления

Ступень высокого давления в аккумуляторной топливной системе Common Rail включает в себя следующие компоненты (рис.7):

- ТНВД (6) с редукционным клапаном;
- трубопроводы линии высокого давления (7);
- аккумулятор топлива высокого давления (8) с датчиком давления, клапаном-регулятором давления и ограничителем подачи;
- форсунки (9);
- линии возврата топлива (10).

### Компоненты ступени высокого давления

#### ТНВД

ТНВД повышает давление топлива в системе до 1350 бар и направляет его через топливопроводы высокого давления в аккумулятор топлива.

#### Аккумулятор топлива

Даже после осуществления впрыска топлива форсункой, давление в аккумуляторе остается практически постоянным. Этот эффект происходит в аккумуляторе в результате свойственной топливу сжимаемости. Давление топлива в аккумуляторе измеряется датчиком давления и поддерживается на требуемом уровне предохранительным клапаном (регулятором давления), который ограничивает давление в аккумуляторе с максимальным значением 1500 бар. Топливо под высоким давлением направляется из аккумулятора к форсункам через ограничитель подачи, который предохраняет от излишней подачи топлива в камеру сгорания.

#### Форсунки

Форсунки в системе Common Rail открываются по пусковому сигналу электромагнитного клапана и впрыскивают топливо непосредственно в камеру сгорания.

Избыточное топливо, которое требуется для открытия форсунки, направляется обратно в топливный бак по линии возврата топлива. Топливо, перепускаемое клапаном-регулятором давления, вместе с топливом из линии низкого давления и топливом, служащим для смазки деталей ТНВД, также направляется в линию возврата топлива.

### Трубопроводы линии высокого давления

Через трубопроводы топливо подается под высоким давлением. Поэтому они должны выдерживать максимальное давление в топливной системе и возможные высокочастотные пики давления, возникающие в интервалах между впрысками. Трубопроводы линии высокого давления изготавливаются из стальных трубок и обычно имеют наружный диаметр 6 мм и внутренний диаметр 2,4 мм.

Все трубки между аккумулятором и форсунками должны быть одинаковой длины. Разница в расстояниях между аккумулятором и конкретными форсунками компенсируется изгибами трубок, при этом трубопроводы линии высокого давления должны быть по возможности короткими.



## Устройство и работа компонентов топливной системы

### Ступень низкого давления

Ступень низкого давления (рис. 8) обеспечивает топливом ступень высокого давления. Наиболее важными компонентами ступени низкого давления являются:

- топливный бак (1);
- топливоподкачивающий насос (3) с фильтром-топливоприемником (2);
- трубопроводы линии низкого давления и линии возврата топлива (5,7);
- фильтр тонкой очистки топлива (4);
- секция низкого давления в ТНВД (6).

### Топливоподкачивающий насос

Топливоподкачивающий насос в ступени низкого давления топлива служит для обеспечения требуемой подачи топлива к элементам ступени высокого давления. В работе топливоподкачивающего насоса предусматривается:

- независимость от режима работы двигателя;
- минимальный шум;
- обеспечение необходимого давления;
- ресурс работы, соответствующий полному сроку службы автомобиля.

В настоящее время существуют два варианта топливоподкачивающих насосов: стан-

дартный вариант - электрический роторный (роликовый) насос, и альтернативный - шестеренчатый насос с механическим приводом.

### Электрический топливоподкачивающий насос

Топливоподкачивающий насос с автономным электрическим приводом (рис. 9 и 10) используется только в двигателях легковых и легких коммерческих автомобилей. Этот насос служит не только для подачи топлива в **ТНВД**, но и в составе системы текущего контроля прекращает подачу топлива в случае аварии.

**Начиная с** прокручивания двигателя стартером, электрический топливоподкачивающий насос работает с постоянной частотой вращения, независимо **от** частоты вращения двигателя. Это означает, **что** насос постоянно подает топливо из топливного бака в ТНВД через фильтр тонкой очистки топлива. Излишнее топливо направляется обратно в бак через перепускной клапан.

Контур безопасности служит **для** прекращения подачи топлива в случае, когда зажигание включено при неработающем двигателе.

Существуют два варианта установки топливоподкачивающих насосов с электрическим приводом - в линию низкого давления между топливным баком и фильтром тонкой очистки топлива, и внутри топливного бака. Первые крепятся к кузову автомобиля, а вторые устанавливаются **на** специальных опорах внутри топливного бака. Кроме наружных электрических и гидравлических соединений, на **этих**

Рис. 8

### Ступень низкого давления

1 - топливный бак, 2 - фильтр-топливоприемник, 3 - топливоподкачивающий насос, 4 - фильтр тонкой очистки топлива, 5 - линия низкого давления, 6 - секция низкого давления ТНВД, 7 - линия возврата топлива, 8 - ЭБУ.

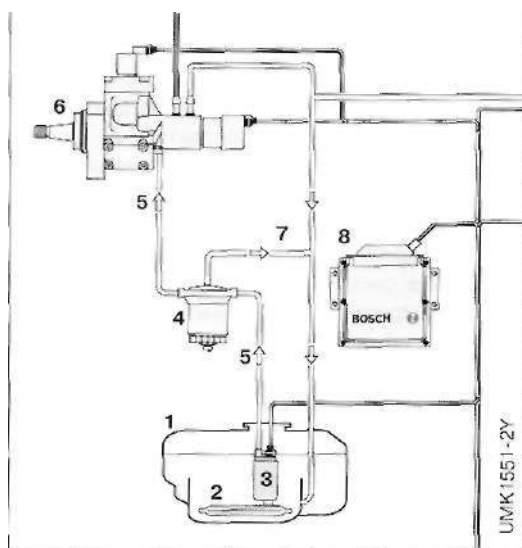
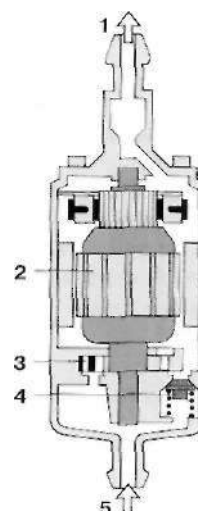


Рис.9

### Схема электрического топливоподкачивающего насоса

А - насосная секция, В - электромотор, С - крышка;

1 - сторона нагнетания, 2 - якорь электромотора, 3 - роликовый насос, 4 - перепускной клапан, 5 - сторона всасывания.



опорах также крепится фильтр-топливоприемник, индикатор уровня топлива и тангенциальная полость, служащая как резервуар топлива.

Электрический топливоподкачивающий насос включает в себя три функциональных элемента (рис. 9):

- насосную секцию (А);
- электромотор (В);
- крышку (С).

Имеется множество различных вариантов насосных элементов, применяемых в зависимости от конкретной области применения насоса. В топливной системе CR используется роторный топливоподкачивающий насос роликового типа (насос прямого вытеснения). Такой тип насоса включает в себя эксцентрично расположенную камеру с установленным в ней ротором и роликами, которые могут перемещаться в прорезях ротора. Вращение ротора вместе с создаваемым давлением топлива заставляют ролики перемещаться на периферию прорези, прижимаясь к рабочим поверхностям. В результате ролики действуют как вращающиеся уплотнители, посредством чего между роликами соседних прорезей и внутренней, рабочей поверхностью корпуса насоса, образуется камера.

Создание давления определяется тем, что при закрытии входной серповидной полости объем камеры постоянно уменьшается, и когда выходное отверстие открывается, топливо течет через электромотор и выходит из штуцера в крышке на нагнетательной стороне насоса.

Электромотор включает в себя постоянный магнит и якорь, конструкция которого

определяется требуемой величиной подачи при данном давлении в линии низкого давления. Электромотор и насосный элемент расположены в общем корпусе. При работающем насосе они постоянно омываются топливом, так что постоянно охлаждаются. Такая конструкция позволяет получить хорошую характеристику электромотора без необходимости создания сложных уплотнительных элементов между насосной секцией и электромотором.

Крышка на нагнетательной стороне имеет электрические выводы и штуцер для гидравлического соединения. В ней также могут быть установлены помехоподавляющие элементы.

#### Топливоподкачивающий насос шестеренчатого типа

На легковых, коммерческих и вседорожных автомобилях с топливной системой Common Rail используются топливоподкачивающие насосы шестеренчатого типа. Они могут быть интегрированы в корпус ТНВД и, следовательно, иметь общий с ним привод или непосредственно устанавливаться на двигатель и иметь свой привод. Обычно применяются шестеренчатый привод или зубчатый ремень.

Основными элементами шестеренчатого насоса являются два шестеренчатых колеса (рис. 11), которые находятся в зацеплении между собой, посредством чего топливо "захватывается" в камеру, образуемую между зубьями шестерен и стенкой корпуса насоса, и направляется к выходу на стороне нагнетания. Контактные поверхности между

Рис. 10

#### **Насосная секция роликового топливоподкачивающего насоса с электрическим приводом**

1 - сторона всасывания, 2 - ротор, 3 - ролик, 4 - опорная плита, 5 - сторона нагнетания.

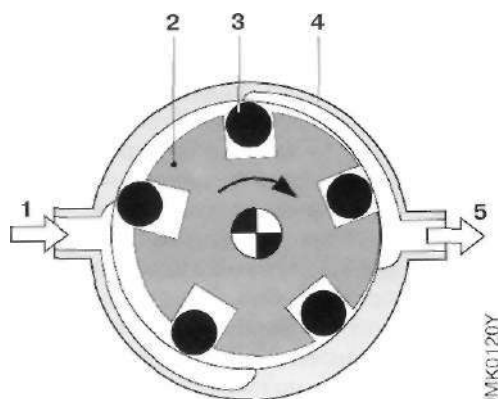
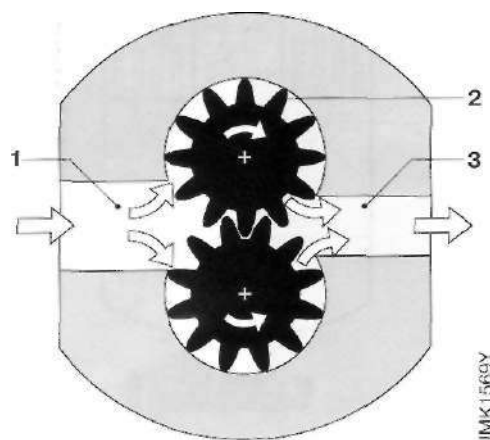


Рис. 11

#### **Схема топливоподкачивающего насоса шестеренчатого типа**

1 - сторона всасывания, 2 - ведущая шестерня, 3 - сторона нагнетания.



*Акумуляторная  
топливная  
система  
Common Rail*

зубьями вращающихся шестерен обеспечивают уплотнение между сторонами всасывания и нагнетания и, таким образом, предотвращают перетекание топлива снова на всасывание.

Величина подачи шестеренчатым насосом практически пропорциональна частоте вращения коленчатого вала двигателя, поэтому величина подачи уменьшается дросселем на всасывающей стороне или ограничивается перепускным клапаном на стороне нагнетания.

Шестеренчатые насосы не требуют технического обслуживания. Для удаления воздуха из топливной системы перед пуском или в случае, когда топливный бак оказывается пустым, непосредственно на топливоподкачивающем насосе или в линии низкого давления может быть установлен насос ручной подкачки топлива.

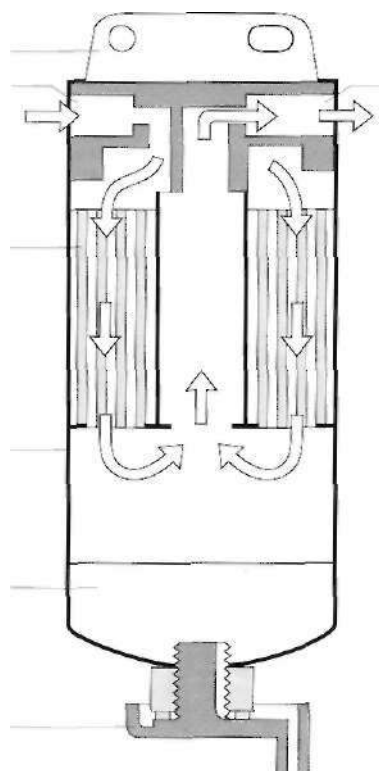
#### **Фильтр тонкой очистки топлива**

Загрязняющие примеси в топливе могут привести к повреждению элементов ТНВД, нагнетательных клапанов и форсунок. Это требует установки топливного фильтра, который должен удовлетворять требованиям

Рис.12

#### **Фильтр тонкой очистки топлива**

1 - крышка фильтра, 2 - вход топлива, 3 - бумажный фильтрующий элемент, 4 - корпус, 5 - камера - сепаратор воды (конденсата), 6 - пробка для слива воды, 7 - выход топлива.



конкретной топливной системы дизеля, ибо в противном случае безошибочная работа и длительный срок службы компонентов системы не могут быть гарантированы. Дизельное топливо может также содержать воду или в виде эмульсии, или в свободном виде (конденсат из-за температурных перепадов) и, если вода присутствует в компонентах топливной системы, то это приводит к их повреждению в результате коррозии.

Подобно топливным системам других типов, система Common Rail также требует установки фильтра тонкой очистки топлива с сепаратором воды (рис. 12), откуда вода может удаляться через определенные интервалы времени. Все увеличивающееся число дизелей, устанавливаемых на легковые автомобили, привело к появлению автоматического индикатора наличия воды в виде контрольной лампы, которая сигнализирует о необходимости слива воды из камеры фильтра (это обязательно для стран, использующих дизельное топливо с большим содержанием воды).

### **Степень высокого давления**

Кроме создания высокого давления в степени высокого давления предусматривается распределение топлива по цилиндрам и дозирование топлива. Наиболее важными компонентами степени высокого давления являются (рис. 13):

- ТНВД (1) с клапаном прекращения подачи (2) и регулятором давления (3);
- аккумулятор топлива (5);
- датчик давления топлива (6) в аккумуляторе;
- предохранительный клапан (7) (регулятор давления);
- ограничитель подачи (8);
- форсунки (9);
- ЭБУ(Ю).

#### **ТНВД**

##### Назначение

ТНВД (рис. 14 и 15), установленный между линией низкого давления и степенью высокого давления, служит для создания необходимого высокого давления в течение всего срока службы автомобиля.

Он также включает в себя устройство для обеспечения пусковой подачи и для быстрого повышения давления в аккумуляторе.

ТНВД постоянно создает высокое давление в топливной системе, как это требуется аккумулятором топлива. Это, следовательно, означает, что в отличие от обычных топливных систем дизелей, давление топлива не должно специально повышаться для завершения каждого рабочего цикла.

Рис.13

**Ступень высокого давления в аккумуляторной топливной системе Common Rail**

*Устройство  
и работа*

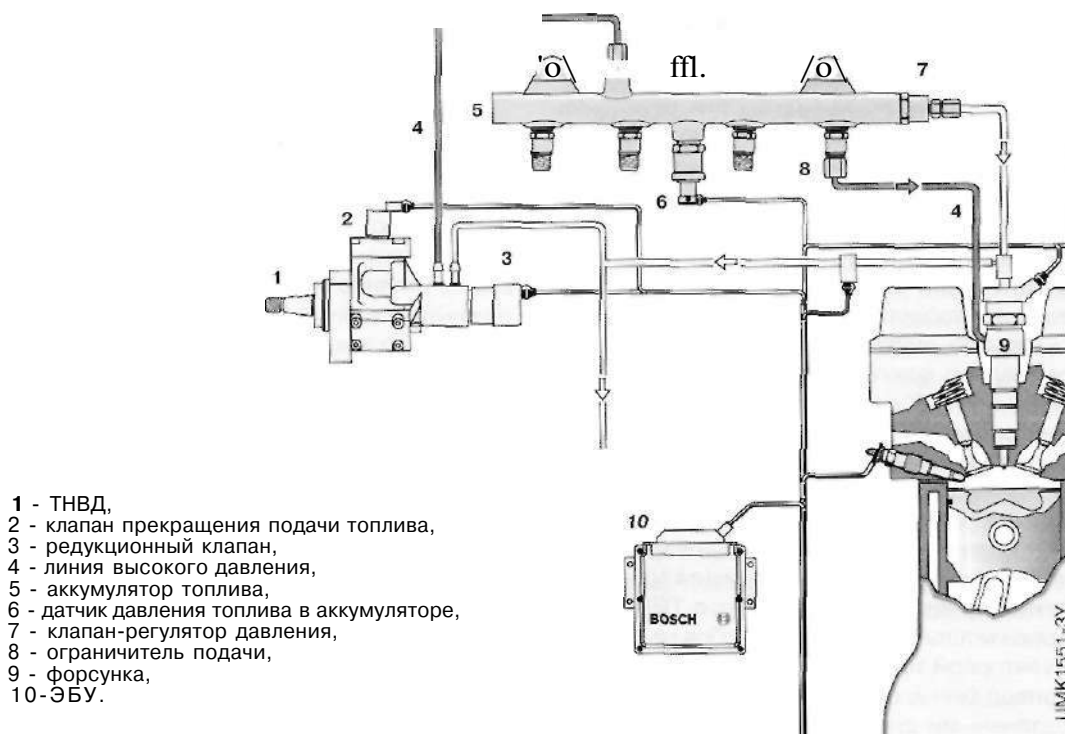
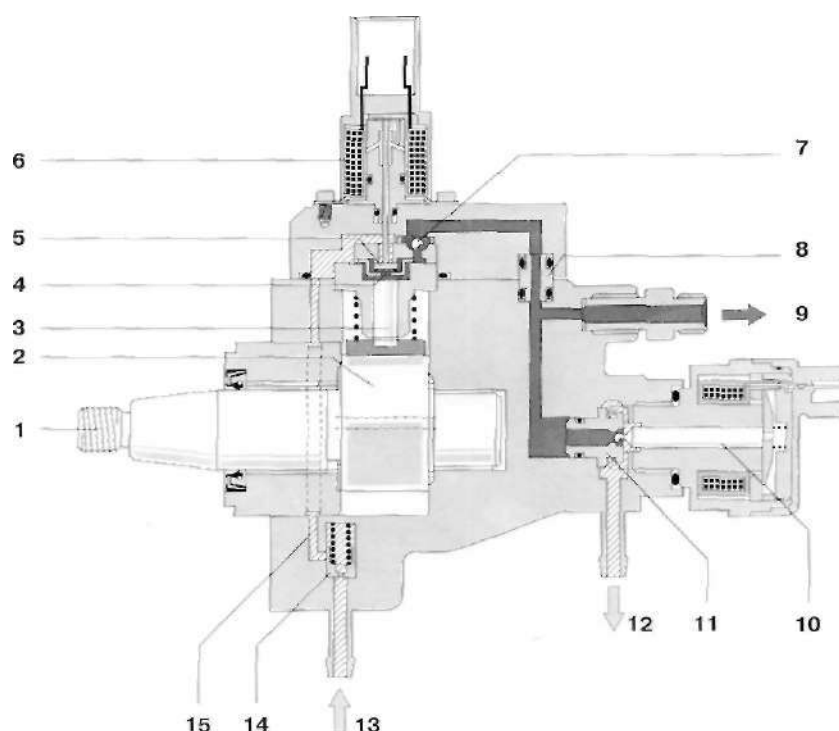


Рис.14

**ТНВД (продольный разрез)**

1 - вал привода, 2 - кулачок, 3 - насосный элемент с плунжером, 4 - надплунжерная камера, 5 - впускной клапан, 6 - электромагнитный клапан прекращения подачи топлива, 7 - выпускной клапан, 8 - уплотнитель, 9 - штуцер соединения с аккумулятором, 10 - регулятор давления, 11 - шариковый клапан, 12 - возврат топлива, 13 - вход топлива от топливоподкачивающего насоса, 14 - противодренажный клапан с дросселем, 15 - канал низкого давления к насосному элементу.



#### Устройство и конструкция

Установка ТНВД на двигатель должна быть предпочтительно на том же месте, что и для обычного ТНВД распределительного типа. Привод ТНВД осуществляется от коленчатого вала двигателя (половина частоты вращения вала двигателя, но не более 3000 мин<sup>-1</sup>) через муфту, шестеренчатую передачу, цепь или зубчатый ремень. Смазка осуществляется подаваемым ТНВД дизельным топливом.

В зависимости от располагаемого пространства, редукционный клапан устанавливается непосредственно на ТНВД или отдельно.

Топливо внутри ТНВД сжимается тремя радиально расположенными плунжерами под углом 120° друг к другу. Поскольку имеют место три рабочих хода подачи на каждый оборот вала, то развивается только небольшой момент, и напряжения на привод насоса оказываются равномерными. Момент сопротивления привода ТНВД равен 16 Н·м, что составляет 1/9 часть от момента сопротивления привода сопоставимого ТНВД распределительного типа. Таким образом, в аккумуляторной топливной системе нагрузка на привод меньше, чем в дизелях с обычными топливными системами. Мощность, затрачиваемая на привод ТНВД, увеличивается пропорционально давлению, создаваемому в аккумуляторе, и частоте вращения вала ТНВД. Например, в двигателе с рабочим объемом 2,0 литра при номинальной частоте вращения и давлении в аккумуляторе 1350 бар на привод ТНВД требуется 3,8 кВт с учетом

механического КПД порядка 90%. Более высокая потребная мощность (больше теоретически необходимой) может быть результатом возврата топлива из форсунок и через регулятор давления.

#### Работа ТНВД

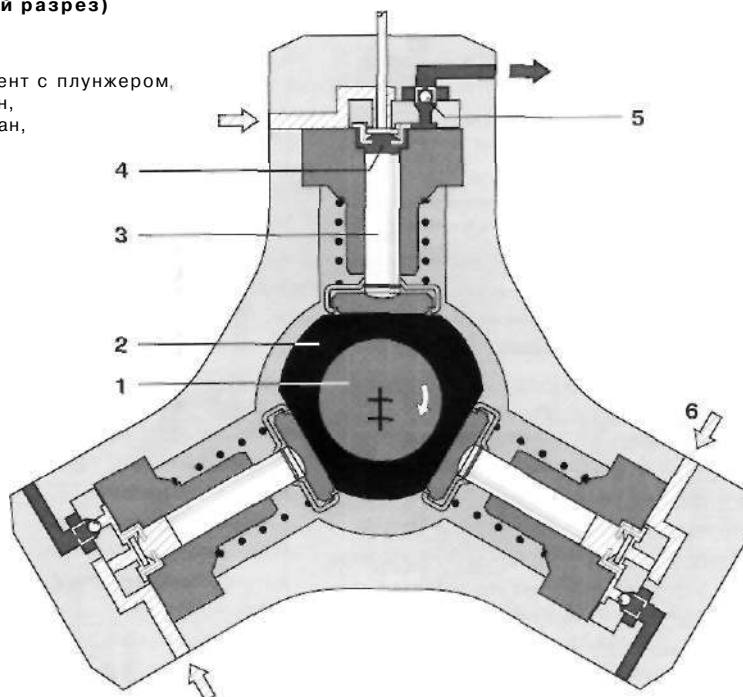
Топливо из топливного бака подается на вход ТНВД (рис. 14 позиция 13) топливоподкачивающим насосом через фильтр тонкой очистки топлива с сепаратором воды. Далее топливо проходит через противодренажный клапан (14) с дросселем в контур смазки и охлаждения ТНВД. Вал привода (1) с кулачком (2) приводит в поступательно-возвратное движение три плунжера (3) в соответствии с формой выступов кулачка.

Поскольку давление подкачки больше давления открытия противодренажного клапана (14) (0,5 - 1,5 бар), топливоподкачивающий насос может подавать топливо через впускной клапан в камеру (4), расположенную над плунжером (рис. 14) насосного элемента, который в данный момент движется "вниз", то есть осуществляет ход всасывания топлива. Впускной клапан закрывается, когда плунжер проходит НМТ и, поскольку топливо не может выходить из надплунжерной камеры, оно теперь может быть сжато до давления подачи в аккумулятор. При достижении этого давления открывается выпускной клапан (7), и сжатое топливо поступает в линию высокого давления и аккумулятор.

Рис. 15

#### ТНВД (поперечный разрез)

- 1 - вал привода,
- 2 - кулачок,
- 3 - насосный элемент с плунжером,
- 4 - впускной клапан,
- 5 - выпускной клапан,
- 6 - вход топлива.



Плунжер ТНВД продолжает подавать топливо до тех пор, пока не достигнет ВМТ (ход нагнетания), после чего давление падает, и выпускной клапан закрывается. Давление топлива в надплунжерной камере также падает, и плунжер снова движется в сторону НМТ.

Как только давление в камере насосного элемента упадет ниже давления подкачки, впускной клапан открывается, и процесс создания высокого давления начинается снова.

#### Величина подачи топлива

Поскольку ТНВД проектируется для обеспечения большой подачи топлива, то на режимах холостого хода и частичных нагрузок подача топлива под высоким давлением будет избыточной. В этих случаях избыточное топливо возвращается в топливный бак через редукционный клапан. Давление топлива в баке падает, и энергия, затраченная на сжатие топлива, таким образом частично теряется. Общий КПД процесса также уменьшается вследствие необязательного подогрева топлива.

Выключение насосного элемента:

Когда один из насосных элементов (3 на рис. 14) отключается, то количество топлива, подаваемого в аккумулятор, уменьшается. Отключение насосного элемента заставляет впускной клапан (5 на рис. 14) оставаться постоянно открытым. При получении электромагнитным клапаном пускового сигнала, шток, связанный с якорем электромагнитного клапана, удерживает впускной клапан постоянно открытым. В результате топливо, подаваемое в надплунжерную камеру, не может быть сжато во время хода нагнетания, и

давление топлива в камере не повышается, поскольку топливо течет обратно в канал низкого давления. При одном выключенном насосном элементе, когда требуется небольшая мощность двигателя, ТНВД тем не менее продолжает постоянно подавать топливо, но только с короткими интервалами прекращения подачи.

Передаточное отношение привода:

Величина подачи ТНВД пропорциональна частоте вращения его вала, что, в свою очередь, есть функция частоты вращения коленчатого вала двигателя. В ходе инженерной проработки топливной системы двигателя передаточное отношение привода ТНВД определяется так, чтобы, с одной стороны, количество избыточного топлива не было слишком большим, а с другой стороны, подача топлива должна соответствовать работе на режиме максимальной мощности двигателя. Передаточное отношение по отношению к коленчатому валу двигателя обычно равно 1:2 или 2:3.

#### **Регулятор давления**

##### Назначение

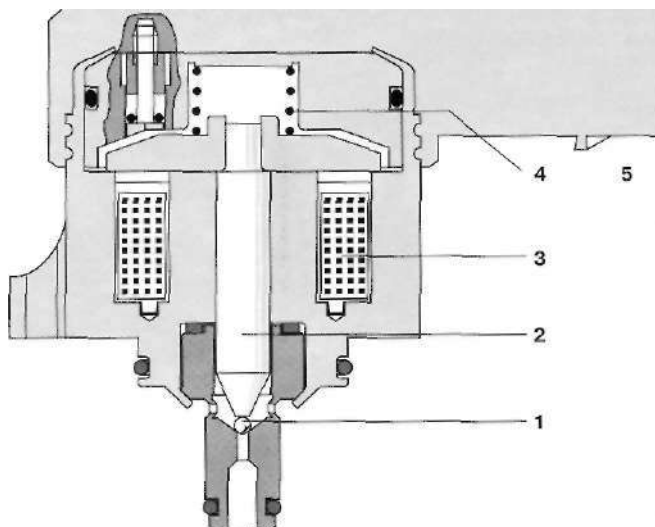
Регулятор давления поддерживает рабочее давление в аккумуляторе в зависимости от нагрузки двигателя:

- при избыточном давлении в аккумуляторе клапан регулятора открывается, и часть топлива возвращается из аккумулятора в топливный бак по линии возврата топлива.
- если давление в аккумуляторе слишком низкое, то клапан регулятора закрывается и перекрывает ступень высокого давления от линии низкого давления.

Рис. 16

#### **Регулятор давления**

- 1 - шариковый клапан,
- 2 - якорь,
- 3 - электромагнит,
- 4 - пружина,
- 5 - электрические выводы.



#### Устройство и конструкция

Регулятор давления (рис. 16) имеет монтажный фланец для крепления к ТНВД или к аккумулятору давления.

Для герметичного разделения ступеней высокого и низкого давления имеется шариковый клапан, установленный на якоре электромагнита. Имеются две силы, действующие на якорь. Посадка шарика на седло осуществляется под действием пружины, а подъем клапана - при включении электромагнита. Для охлаждения и смазки электромагнит в сборе постоянно омывается топливом.

#### Работа регулятора давления

Регулятор давления включен в два управляющих контура:

- управляющий контур низкого быстродействия для установки переменного среднего давления в аккумуляторе;
- механический управляющий контур высокого быстродействия для компенсации высокочастотных колебаний давления.

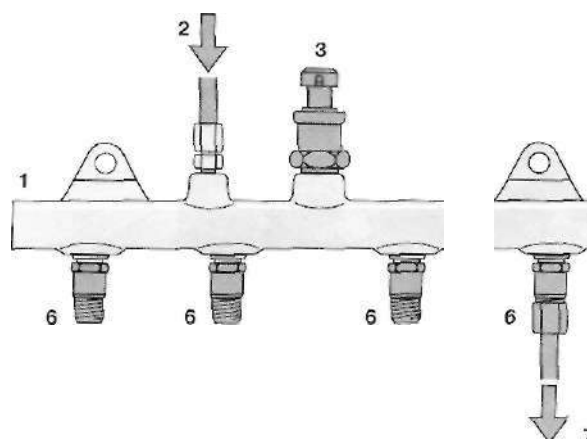
Если питание на электромагнит не подается:

В этом случае высокое давление в аккумуляторе или на выходе ТНВД приложено к клапану-регулятору давления через входной штуцер высокого давления. Поскольку в этом случае электромагнитные силы не действуют, силы давления преодолевают сопротивление пружины, в результате чего управляющий клапан открывается и остается открытым в зависимости от величины подачи. Пружина спроектирована таким образом, что максимальное давление открытия клапана достигает 100 бар.

Рис. 17

#### **Аккумулятор высокого давления**

1 - аккумулятор, 2 - впуск топлива от ТНВД, 3 - датчик давления в аккумуляторе, 4 - клапан-регулятор давления, 5 - возврат топлива в топливный бак, 6 - ограничитель подачи, 7 - топливные трубки высокого давления к форсункам.



se=^>

### Устройство и конструкция

Для обеспечения условий установки на множество различных двигателей система CR должна выполняться в различных модификациях по расположению и конструкции датчиков высокого давления, предохранительных клапанов и клапанов-ограничителей давления.

### Работа аккумулятора

Внутренняя полость аккумулятора постоянно заполняется сжатым топливом. Эффект работы аккумулятора достигается в результате сжимаемости топлива, достигаемой при высоком давлении, которое во время впрыска остается в аккумуляторе практически постоянным. В аккумуляторе компенсируются также колебания давления топлива, являющиеся следствием работы ТНВД.

### **Датчик давления топлива в аккумуляторе**

#### Назначение

Для того чтобы выходной сигнал напряжения, посылаемый ЭБУ, соответствовал приложенному давлению, датчик давления топлива в аккумуляторе должен измерять мгновенное значение давления с адекватными точностью и быстродействием.

### Устройство и конструкция

Датчик давления топлива в аккумуляторе (рис. 19) включает в себя следующие элементы:

- встроенный чувствительный элемент, приваренный к корпусу датчика;
- печатная плата с электронной схемой обработки сигнала.

- корпус датчика с электрическими выводами.

Топливо попадает в датчик через отверстие в аккумуляторе и канал в корпусе датчика, закрытый на конце диафрагмой, то есть топливо под давлением воздействует на диафрагму. Чувствительный элемент датчика (полупроводник), смонтированный на диафрагме, преобразует давление в электрический сигнал. Этот сигнал усиливается в обрабатывающем контуре и посылается в ЭБУ.

### Работа датчика

Датчик давления топлива в аккумуляторе работает следующим образом:

При изменении формы диафрагмы электрическое сопротивление слоев, прикрепленных к диафрагме, также изменяется. Изменение формы, то есть прогиб диафрагмы приблизительно на 1 мм при давлении 1500 бар, изменяет электрическое сопротивление и вызывает изменение напряжения в измерительном мосту, на который подается питание 5 В.

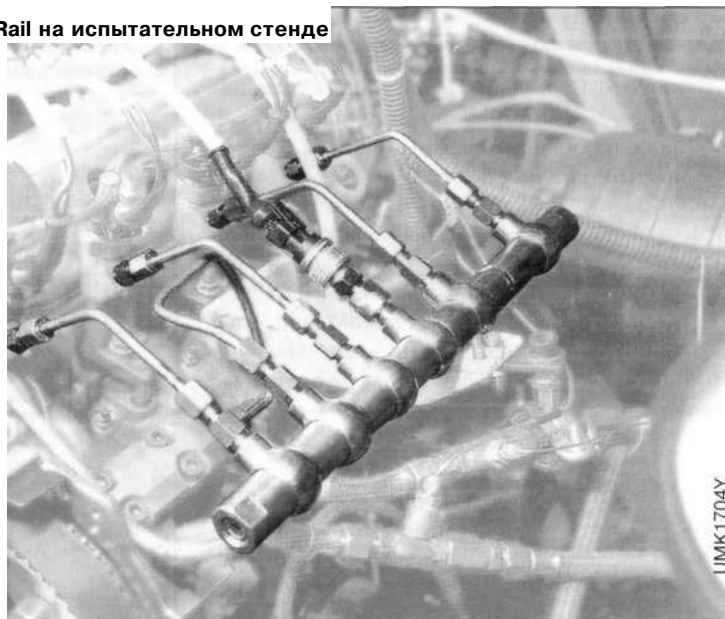
Первичный сигнал изменяется в диапазоне 0-70 мВ, в зависимости от прилагаемого давления, и затем усиливается в контуре обработки сигнала до 0,5-4,5 В.

Точное измерение давления топлива в аккумуляторе является определяющим (главным) фактором правильного функционирования топливной системы. Это одна из причин установки очень жестких допусков для датчика при измерении давления. Точность измерения давления датчиком в главном рабочем диапазоне составляет  $\pm 2\%$  от полной шкалы. В случае неисправности

### *Устройство и работа*

Рис. 18

Установка системы Common Rail на испытательном стенде





датчика давления клапан-регулятор давления оказывается "слепым", и система начинает работать в аварийном режиме ("limp-home" режим) при фиксированных значениях давления.

### Клапан-регулятор давления

#### Назначение

Клапан-регулятор давления служит как предохранительный клапан. В случае сильного превышения расчетного давления клапан ограничивает давление в аккумуляторе путем открытия сливного канала. Максимальное давление, кратковременно допускаемое клапаном, равно 1500 бар (150 МПа).

#### Устройство и конструкция

Клапан-регулятор давления (рис.20) есть механическое устройство, включающее в себя следующие элементы:

- корпус с наружной резьбой для завинчивания в аккумулятор;
- внутренняя резьба для соединения с линией возврата топлива;
- плунжер;
- пружина.

На стороне подсоединения к аккумулятору в корпусе клапана имеется канал, закрываемый конической частью плунжера, который садится на седло внутри корпуса. При нормальных рабочих давлениях (до 1350 бар) пружина прижимает конус плунжера к седлу, и слив топлива из аккумулятора в линию низкого давления не осуществляется. Как только давление в системе становится

больше максимального, плунжер под действием силы давления "поднимается", преодолевая сопротивление пружины клапана, и топливо под высоким давлением вытекает из аккумулятора и через канал попадает во внутреннюю полость плунжера и далее в коллектор для возврата топлива в бак. В результате давление в аккумуляторе уменьшается.

### Ограничитель подачи топлива

#### Назначение

Ограничитель подачи предотвращает выход топлива из аккумулятора через форсунку с зависшей иглой (постоянно открытой). Для обеспечения этой функции в случаях, когда количество топлива, выходящего из аккумулятора, превысит расчетное значение, ограничитель закрывает линию высокого давления неисправной форсунки.

#### Устройство и конструкция

Ограничитель подачи (рис. 21) состоит из металлического корпуса с наружной резьбой для завинчивания в аккумулятор (сторона высокого давления) и с наружной резьбой для соединения с линией высокого давления форсунки. Канал внутри корпуса обеспечивает гидравлическое соединение аккумулятора с трубопроводом линии высокого давления.

Плунжер плотно установлен в расточке корпуса и отжимается пружиной к стороне аккумулятора, продольный канал в плунжере служит для гидравлического соединения

Рис.19

### Датчик давления топлива в аккумуляторе

1 - электрические выводы, 2 - контур со схемой обработки сигнала, 3 - диафрагма с чувствительным элементом датчика, 4 - сторона высокого давления, 5 - резьба.

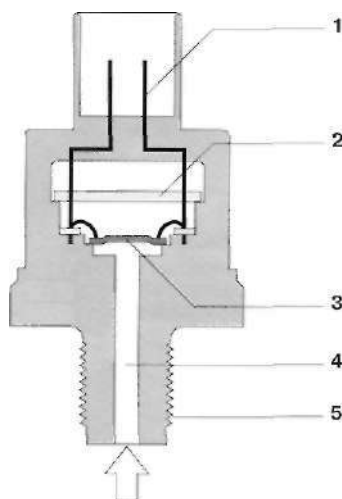
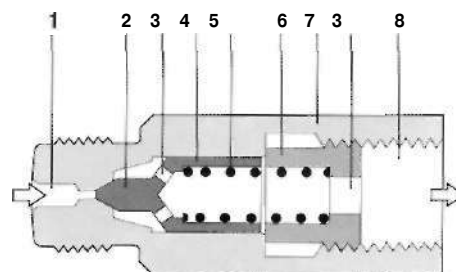


Рис.20

### Клапан-регулятор давления

1 - сторона высокого давления, 2 - клапан, 3 - отверстия для прохода топлива, 4 - плунжер, 5 - пружина, 6 - упор, 7 - корпус клапана, 8 - сторона возврата топлива.



входа и выхода топлива. В конце плунжера продольный канал сужается, а в самом плунжере выполнено дроссельное отверстие.

### Работа

Работа в обычном режиме (рис. 22).

Плунжер ограничителя подачи в нормальном положении отжат пружиной от седла, другими словами, находится на упоре на стороне соединения с аккумулятором. После впрыска топлива давление в форсунке падает и заставляет плунжер перемещаться в сторону соединения с форсункой. Ограничитель подачи компенсирует объем топлива, взятый из аккумулятора форсункой, посредством располагаемого топлива в объеме плунжера. В конце процесса впрыска плунжер отходит от седла и под действием пружины занимает промежуточное положение, и топливо может теперь проходить через дроссельное отверстие.

Усилие пружины и диаметр дроссельного отверстия рассчитываются таким образом, чтобы даже при максимальной величине впрыскиваемого топлива (плюс резерв безопасности) плунжер мог перемещаться назад, на упор (на стороне аккумулятора) и оставаться там до начала следующего впрыска.

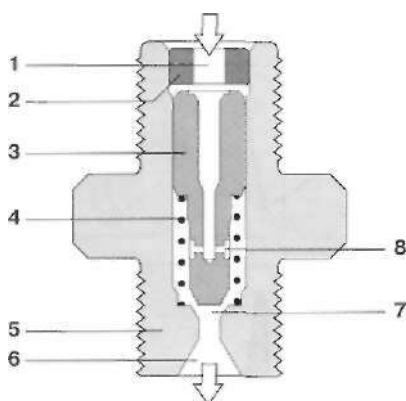
Нарушение нормальной работы при больших утечках:

При большом количестве выходящего из аккумулятора топлива плунжер ограничителя подачи сразу отходит от упора, садится на седло и закрывает проход топлива к форсунке.

Рис. 21

### Ограничитель подачи топлива

1 - сторона соединения с аккумулятором, 2 - уплотнительная шайба, 3 - плунжер, 4 - пружина, 5 - корпус, 6 - сторона соединения с форсункой, 7 - седло клапана, 8 - дроссельное отверстие.



Нарушение нормальной работы при небольших утечках (рис. 22):

При небольших утечках топлива плунжер не может оставаться в положении на упоре на стороне аккумулятора, и после нескольких впрысков садится на седло на стороне форсунки. Плунжер остается в этом положении до тех пор, пока двигатель не будет остановлен.

### Форсунки

#### Назначение

Угол опережения впрыска (начало впрыска топлива) и количество впрыскиваемого топлива (величина подачи) регулируются электрическим пусковым сигналом на форсунки. Такие форсунки вытесняют форсунки обычного типа с отдельным распылителем в корпусе.

Подобно уже существующим устройствам для дизелей с непосредственным впрыском топлива (DI), для установки форсунок в головке цилиндров преимущественно используются прижимы. Это означает, что форсунки системы Common Rail могут устанавливаться на существующие дизели с непосредственным впрыском топлива без особых изменений конструкции головки блока цилиндров.

#### Устройство и конструкция

Устройство форсунки (рис. 23) может быть подразделено на несколько блоков:

- распылитель с сопловыми отверстиями;
- гидравлическая сервосистема;
- электромагнитный клапан.

Топливо в форсунку подается через входной штуцер высокого давления (4) и далее в канал (10) и камеру гидроуправления (8) через жиклер (7). Камера гидроуправления соединяется с линией возврата топлива (1) через жиклер камеры гидроуправления (6), который открывается электромагнитным клапаном.

При закрытом жиклере (6) силы гидравлического давления, приложенные к управляющему плунжеру (9), превосходят силы давления, приложенные к заплечику иглы (11) форсунки. В результате игла садится на седло и закрывает проход топлива под высоким давлением в камеру сгорания.

При подаче пускового сигнала на электромагнитный клапан жиклер (6) открывается, давление в камере гидроуправления падает, и в результате сила гидравлического давления на управляющий плунжер также уменьшается. Поскольку сила гидравлического давления на управляющий плунжер оказывается меньше силы, действующей на заплечик иглы форсунки, последняя открывается, и топливо через сопловые отверстия

впрыскивается в камеру сгорания. Такое косвенное управление иглой форсунки, использующее систему мультипликатора, позволяет обеспечить очень быстрый подъем иглы, что невозможно сделать путем прямого воздействия электромагнитного клапана. Так называемая "управляющая доза" топлива, необходимая для подъема иглы форсунки, является дополнительной по отношению к действительному количеству впрыскиваемого топлива, поэтому это топливо направляется обратно, в линию возврата топлива через жиклер камеры гидроуправления.

Кроме "управляющей дозы" в линию возврата топлива и далее в топливный бак также выходят утечки через направляющие иглы форсунки. К коллектору линии возврата топлива также подсоединяются предохранительный клапан (ограничитель давления) аккумулятора и редукционный клапан ТНВД.

#### Работа форсунки

Работа форсунки может быть разделена на четыре рабочих стадии при работающем двигателе и создании высокого давления ТНВД:

- форсунка закрыта с приложенным высоким давлением;
- форсунка открывается (начало впрыска);
- форсунка полностью открыта;
- форсунка закрывается (конец впрыска).

Эти рабочие стадии являются результатом действия сил, приложенных к деталям форсунки. При остановленном двигателе и отсутствии давления в аккумуляторе форсунка закрыта под действием пружины.

Форсунка закрыта:

При закрытой форсунке питание на электромагнитный клапан не подается (рис. 23, а).

При закрытом жиклере камеры гидроуправления пружина якоря прижимает шарик к седлу, высокое давление, подаваемое в камеру и к распылителю форсунки из аккумулятора, увеличивается. Таким образом, высокое давление, действующее на торец управляющего плунжера, вместе с усилием пружины держат форсунку закрытой, преодолевая силы давления в камере распылителя.

Форсунка открывается:

Перед началом процесса впрыска, еще при закрытой форсунке, на электромагнитный клапан подается большой ток, что обеспечивает быстрый подъем шарикового клапана (рис. 23, б). Шариковый клапан открывает жиклер камеры гидроуправления и, поскольку теперь электромагнитная сила превосходит силу пружины якоря, клапан остается открытым, и практически одновременно сила тока, подаваемого на обмотку электромагнитного клапана, уменьшается до тока, требуемого для удерживания якоря. Это возможно потому, что воздушный зазор для электромагнитного потока теперь уменьшается. При открытом жиклере топливо может вытекать из камеры гидроуправления в верхнюю полость и далее по линии возврата топлива в бак. Давление в камере гидроуправления уменьшается, нарушается баланс давлений, и давление в камере распылителя, равное давлению в аккумуляторе, оказывается выше давления в камере гидроуправления. В результате сила давления, действующая на торец управляющего плунжера, уменьшается, игла форсунки поднимается, и начинается процесс впрыска топлива.

Скорость подъема иглы форсунки определяется разностью расходов через жиклер и сопловые отверстия. Управляющий плунжер достигает верхнего упора, где остается,

Рис. 22

**Работа ограничителя подачи при нормальной работе и при небольших утечках топлива**

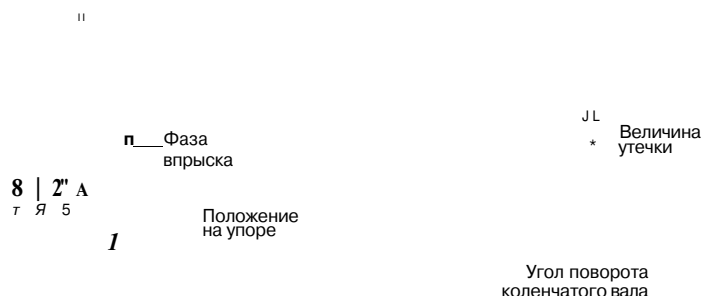
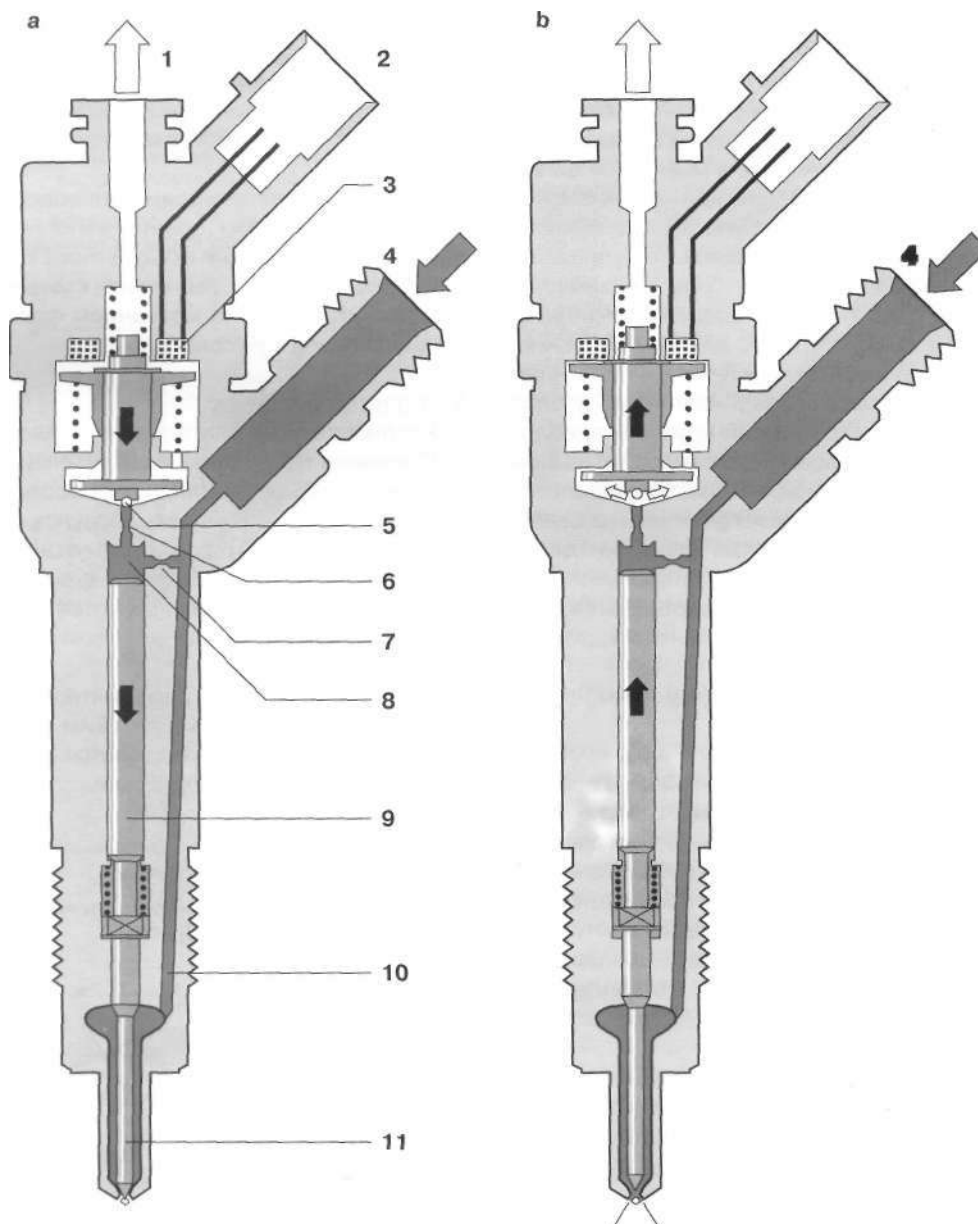


Рис. 23

### Форсунка

**а** - форсунка закрыта, **б** - форсунка открыта (впрыск); 1 - возврат топлива, 2 - электрические выводы, 3 - электромагнитный клапан, 4 - вход топлива из аккумулятора, 5 - шариковый клапан, 6 - жиклер, 7 - "питающий" жиклер, 8 - камера гидроуправления, 9 - управляющий плунжер, 10 - канал к распылителю, 11 - игла форсунки.

*Устройство  
и работа*



поддерживаемый "буферным" слоем топлива, образующимся в результате указанной выше разницы расходов через жиклер и сопловые отверстия. Игла форсунки теперь полностью открыта, и топливо впрыскивается в камеру сгорания под давлением, практически равным давлению в аккумуляторе. Распределение сил в форсунке подобно распределению в фазе открытия.

Форсунка закрывается (конец впрыска):  
Как только прекращается подача питания на электромагнитный клапан, пружина якоря перемещает его вниз, и шариковый клапан закрывается. Якорь состоит из двух частей, поэтому, хотя тарелка якоря перемещается вниз заплечиком, она может оказывать противодействие возвратной пружины, что уменьшает напряжение на якорь и шарик.

Закрытие жиклера приводит к повышению давления в камере гидроуправления при поступлении в нее топлива через "питающий" жиклер (7) (рис. 23). Это давление, равное давлению в аккумуляторе, действует на торец управляющего плунжера, и сила давления вместе с силой пружины преодолевают силу давления, действующую на заплечик иглы форсунки, которая закрывается.

Скорость посадки иглы форсунки на седло, то есть скорость закрытия форсунки, определяется расходом через "питающий" жиклер. Впрыск топлива прекращается, как только игла форсунки садится на седло.

**Сопловые распылители форсунок**

Назначение

Распылители, установленные в корпусах форсунок топливной системы Common Rail, должны быть тщательно подобраны к данному двигателю по условиям его работы. Конструкция распылителя определяет следующие важные показатели топливной системы:

- дозирование топлива - период впрыска и количество впрыскиваемого топлива по углу поворота коленчатого вала (в градусах п.к.в.);
- управление подачей топлива (число сопловых отверстий, форма факела струи и тонкость распыливания топлива), распределение топлива по объему камеры сгорания;
- уплотнение в камере сгорания.

Применение

В дизелях с непосредственным впрыском топлива (DI) и топливной системой Common Rail применяются сопловые распылители "Тип Р" с диаметром иглы форсунки 4 мм. Эти распылители бывают двух типов:

- распылители с подигольным объемом;
- распылители с запирающим конусом.

Устройство и конструкция

Сопловые отверстия располагаются на наконечнике распылителя (рис. 24). Количество сопловых отверстий и их диаметр зависят от:

- количества впрыскиваемого топлива;
- формы камеры сгорания;
- закрутки потока в камере сгорания.

Входные кромки сопловых отверстий в обоих типах распылителей закругляются методом гидроэрозионной обработки (так называемый HE-процесс). Указанный процесс скругления кромок имеет целью:

- предотвращение износа кромок абразивными частицами, имеющимися в топливе, и/или
- для ужесточения допуска по расходу.

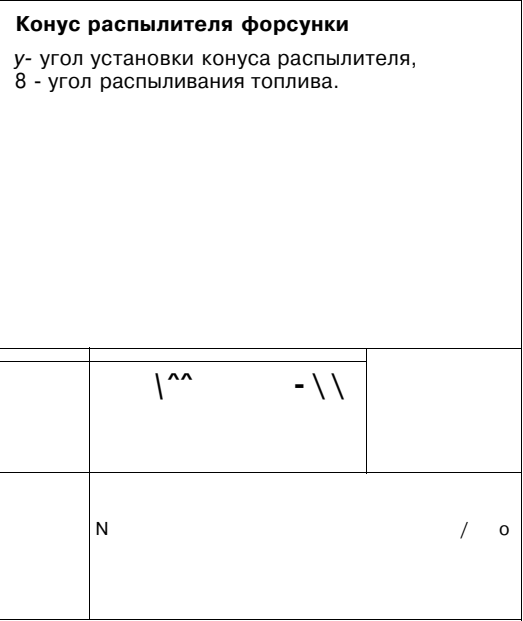
Для снижения эмиссии углеводородов очень важно, чтобы объем, заполняемый топливом (остаточный объем) ниже кромки седла иглы форсунки, был сведен к минимуму. Это достигается использованием форсунок с запирающим конусом.

Устройство форсунок

Распылители с подигольным объемом:  
Сопловые отверстия распылителей с подигольным объемом (рис. 25) располагаются в этой полости. В случае форсунок с круглым наконечником сопловые отверстия, в зависимости от требуемого факела распыливания топлива, выполняются механическим сверлением или методом электроискровой обработки.

Сопловые отверстия распылителей с подигольным объемом и коническим наконечником иглы всегда выполняются методом электро-эрозионной обработки.

Рис.24



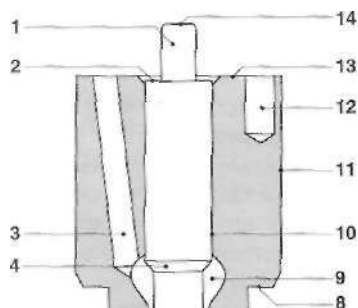
Форма подигольной полости этих распылителей может быть цилиндрической или конической с самими объемами различных размеров.

1. Распылитель с цилиндрической полостью подигольного объема и со скругленным наконечником иглы форсунки:

Рис. 25

#### Распылитель с подигольным объемом

1 - нажимной штифт, 2 - упорная поверхность подъема иглы форсунки, 3 - впускной канал, 4 - фаска (запечик), 5 - игла распылителя форсунки, 6 - наконечник корпуса распылителя, 7 - корпус распылителя, 8 - опорная поверхность корпуса распылителя, 9 - камера давления, 10 - направляющая иглы форсунки, 11 - верхняя часть корпуса распылителя, 12 - отверстие под фиксатор, 13 - уплотнительная поверхность, 14 - контактная поверхность нажимного штифта.



Такой распылитель имеет цилиндрическую и полусферическую части, что позволяет конструкторам иметь большую свободу выбора, касающегося:

- количества сопловых отверстий,
- длины сопловых отверстий;
- угла факела распыливания.

Полусферическая форма наконечника иглы вместе с формой подигольного объема обеспечивают одинаковую длину сопловых отверстий.

2. Распылитель с цилиндрической полостью подигольного объема и с коническим наконечником иглы форсунки:

Распылители с такой формой используются исключительно с сопловыми отверстиями длиной 0,6 мм. Коническая форма наконечника иглы форсунки позволяет увеличить толщину стенки между радиусом округления корпуса распылителя и седлом иглы, что увеличивает прочность распылителя.

3. Распылитель с конической полостью подигольного объема и с коническим наконечником иглы форсунки:

Этот вариант распылителя имеет меньший объем, по сравнению с подигольным объемом цилиндрической формы. Такая конструкция находится как бы между распылителем с запирающим конусом и распылителем с подигольным объемом цилиндрической формы. Для того чтобы обеспечить стенку равной толщины, форма конического наконечника соответствует форме подигольного объема.

Распылители с запирающим конусом:

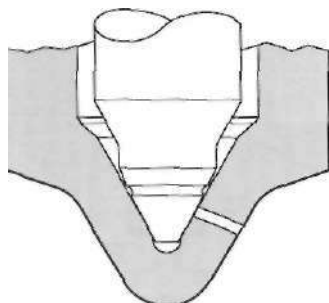
Для того чтобы максимально уменьшить остаточный объем и, следовательно, снизить эмиссию углеводородов с ОГ, вход соплового отверстия располагается на конической поверхности седла и при закрытой форсунке запирается иглой. Это означает, что нет непосредственного соединения между подигольным объемом и камерой сгорания (рис. 26). Подигольный объем в таких распылителях значительно меньше, чем в рассмотренных выше распылителях с "подигольным объемом". По сравнению с ними, распылители с запирающим конусом имеют намного меньший предел нагрузки и, следовательно, изготавливаются с размерами по типу "Р" с длиной сопловых отверстий 1 мм.

Из соображений прочности наконечник корпуса распылителя имеет конусную форму. Сопловые отверстия в этих распылителях всегда выполняются методом электро-эрозионной обработки.



Рис. 26

#### Распылитель с запирающим конусом: конечная часть



# Система электронного управления дизелей (EDC)

## Системные блоки

Система электронного управления дизелей (EDC) с топливной системой Common Rail включает в себя три главных системных блока:

1. Датчики и генераторы импульсов для регистрации эксплуатационных условий и генерирования желаемых значений параметров. Они преобразуют различные физические параметры в электрические сигналы.
2. Электронный блок управления (ЭБУ) обрабатывает информацию, полученную от датчиков и генераторов в соответствии с данным алгоритмом управления для генерирования выходных электрических сигналов.
3. Исполнительные устройства, преобразуют электрические выходные сигналы ЭБУ в механические величины.

## Датчики (рис. 28)

### Датчик частоты вращения коленчатого вала

Момент начала впрыска топлива в камеру сгорания определяется положением поршня в цилиндре двигателя. Все поршни соединяются с коленчатым валом с помощью шатунов и, следовательно, датчик частоты вращения коленчатого вала обеспечивает получение информации о положении всех поршней в цилиндрах. Частота вращения определяется числом оборотов коленчатого вала в минуту. Эта важная входная переменная рассчитывается в ЭБУ по сигналу индуктивного датчика частоты вращения коленчатого вала.

### Генерирование сигнала

На коленчатом валу закреплен задатчик угловых импульсов - диск с 60-ю зубьями и с пропуском двух зубьев, образующим большой пропуск, расположение которого определяет положение поршня первого цилиндра. Датчик частоты вращения коленчатого вала регистрирует прохождение зубьев диска в их последовательности. Датчик включает в себя постоянный магнит и сердечник из манитомягкого железа с медной обмоткой (рис. 27). Магнитный поток в датчике изменяется при прохождении зубьев и пропуска между ними, в результате чего генерируется синусоидальное переменное напряжение с амплитудой, резко увеличивающейся при увеличении частоты враще-

ния коленчатого вала. Амплитуда напряжения регистрируется, начиная с частоты вращения  $50 \text{ мин}^{-1}$ .

### Расчет частоты вращения

Чередование подхода поршней к ВМТ такта сжатия по углу п.к.в. соответствует двум полным оборотам коленчатого вала ( $720^\circ$ ), начиная от рабочего цикла первого цилиндра. В случае равномерного чередования вспышек это означает, что угол между вспышками в камерах сгорания равен  $720^\circ/\text{число цилиндров}$ .

В четырехцилиндровых двигателях этот период равен  $180^\circ$ , другими словами, датчик частоты вращения коленчатого вала должен сканировать 30 зубьев между двумя вспышками. Требуемый период времени для замера определяется временем прохождения пропуска зубьев, а средняя скорость его прохождения коленчатым валом есть частота вращения двигателя.

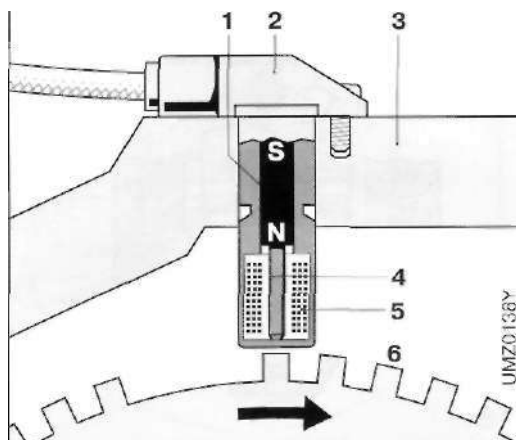
### Датчик частоты вращения распределительного вала

Распределительный вал управляет моментами открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов двигателя. Частота вращения распределительного вала составляет половину частоты вращения коленчатого вала. Когда поршень движется в направлении ВМТ, положение распределительного вала определяется в зависимости от того, является ли этот момент тактом сжатия с последующим воспламенением, или тактом выпуска ОГ. Эта информация не может быть получена от коленчатого вала по его положению в момент

Рис. 27

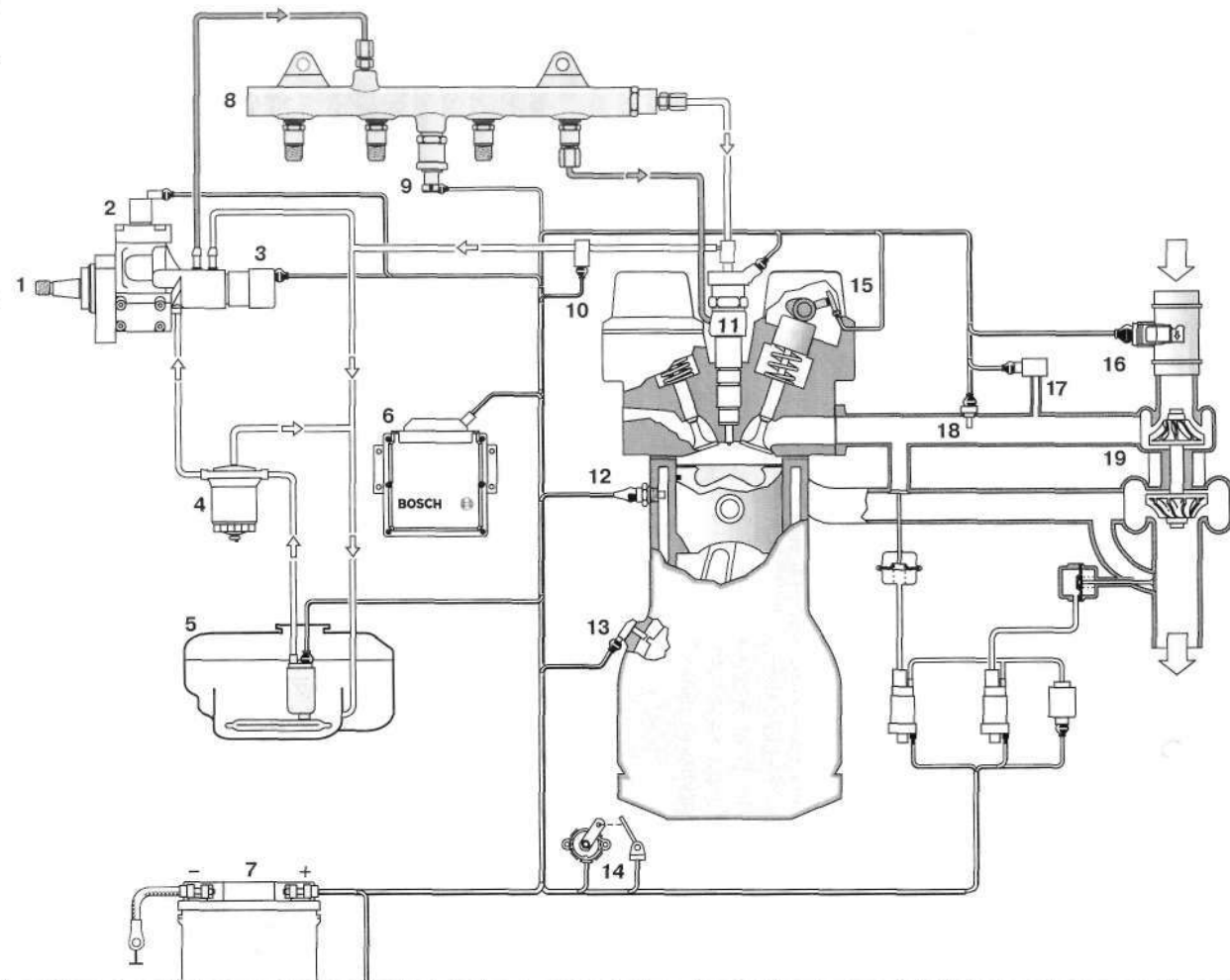
### Датчик частоты вращения коленчатого вала

1 - постоянный магнит, 2 - корпус, 3 - блок цилиндров двигателя, 4 - сердечник из магнитомягкого железа, 5 - обмотка, 6 - задатчик угловых импульсов (зубчатый диск).



# Датчики в топливной системе Common Rail, вместе с другими различными компонентами

- 1 ТНВД,
- 2 электромагнитный клапан прекращения подачи,
- 3 редукционный клапан ТНВД,
- 4 фильтр тонкой очистки топлива,
- 5 топливный бак с фильтром-топливозаборником и подкачивающим насосом,
- 6 ЭБУ,
- 7 аккумуляторная батарея,
- 8 аккумулятор топлива высокого давления,
- 9 датчик давления топлива в аккумуляторе,
- 10 датчик температуры топлива,
- 11 форсунка,
- 12 датчик температуры охлаждающей жидкости,
- 13 датчик частоты вращения коленчатого вала,
- 14 датчик положения педали акселератора,
- 15 датчик частоты вращения распределительного вала,
- 16 массовый расходомер воздуха,
- 17 датчик давления наддува,
- 18 датчик температуры воздуха на впуске,
- 19 турбокомпрессор.



UMK1551-3Y



начала впрыска топлива. С другой стороны, при нормальной работе двигателя информации, выдаваемой датчиком частоты вращения коленчатого вала, достаточно для определения состояния двигателя. Другими словами, это означает, что в случае неисправности датчика частоты вращения распределительного вала во время движения автомобиля, ЭБУ все равно будет получать информацию о состоянии двигателя от датчика частоты вращения коленчатого вала.

В датчике частоты вращения распределительного вала для определения положения вала используется эффект Холла. К распределительному валу прикреплен выступ (зуб) из ферромагнитного материала. Когда этот выступ проходит мимо полупроводниковых пластин датчика распределительного вала, его магнитное поле отклоняет поток электронов в полупроводниковых пластинах под прямым углом к направлению тока, протекающего через пластины. В результате появляется короткий импульс напряжения (напряжение Холла), который информирует ЭБУ, что в первом цилиндре начинается такт сжатия.

#### Температурные датчики

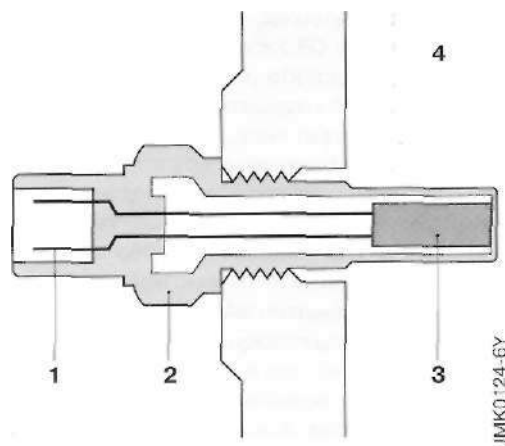
Температурные датчики устанавливаются в различных местах двигателя:

- в системе охлаждения для измерения температуры охлаждающей жидкости (рис.29);
- во впускном коллекторе для измерения температуры воздуха на впуске;
- в системе смазки двигателя для измерения температуры масла (устанавливается в зависимости от комплектации);

Рис. 29

#### Датчик температуры охлаждающей жидкости

1 - электрические выводы, 2 - корпус, 3 - резистор (с отрицательным температурным коэффициентом), 4 - охлаждающая жидкость.



- в линии возврата топлива для измерения температуры топлива (устанавливается в зависимости от комплектации).

Все датчики имеют термозависимый резистор с отрицательным температурным коэффициентом (NTC), сопротивление которых зависит от температуры. Датчики есть часть схемы с делителем напряжения, шунтированным напряжением 5 В.

Падение напряжения на резисторе передается в ЭБУ через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и является, таким образом, мерой измерения температуры. Температурная характеристика датчика хранится в памяти микропроцессора ЭБУ двигателя, который определяет температуру как функцию полученного значения напряжения (рис. 30).

#### Массовый расходомер воздуха с пленочным термоанемометром

Для того чтобы соответствовать ограничениям по эмиссии вредных веществ с ОГ двигателя, накладываемым законодательно принятым правилам, необходимо точно обеспечивать требуемый состав топливовоздушной смеси в камере сгорания. Это особенно важно, когда двигатель работает на неустановившихся режимах. Поэтому необходимы датчики, которые могут точно измерять действительный массовый расход воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя. Точность измерений датчиком не должна зависеть от пульсаций, обратных потоков, рециркуляции ОГ, переменных фаз газораспределения и от изменений температуры воздуха на впуске.

Рис.30

Кривая характеристика датчика охлаждающей жидкости с отрицательным температурным коэффициентом (NTC)

Ом

температура

Все эти условия выполняются массовым расходомером воздуха с пленочным термоанемометром. В термоанемометрическом массовом расходомере воздуха датчик представляет собой нить термоанемометра, нагретую электрическим током и охлаждаемую потоком воздуха на впуске (рис. 31). Используемая здесь система микромеханического измерения регистрирует массовый расход воздуха и его направление. В этой системе также определяются обратные токи воздуха, имеющие место при наличии пульсаций потока.

Чувствительный элемент датчика микромеханической системы измерения располагается в канале в корпусе датчика (5 на рис. 31). Корпус датчика может быть расположен в воздушном фильтре или в измерительном патрубке во впускном коллекторе.

Имеются различные размеры измерительных патрубков, зависящие от величины максимального расхода воздуха. Характеристика сигнала напряжения как функция расхода воздуха разделена на секторы по сигналам прямого потока и обратного тока. Для того чтобы повысить точность измерений, изме-

ряемый сигнал сопоставляется с эталонным напряжением, формируемым в системе управления двигателя. Форма характеристической кривой выполнена так, что позволяет сервисной мастерской использовать систему управления двигателя для диагностирования разомкнутой электрической цепи. Датчик может быть использован для измерения температуры воздуха на впуске.

#### Датчик положения педали акселератора

В отличие от обычных ТНВД, распределительного типа и многоплунжерных рядных, в электронных системах управления дизелей (EDC) педаль акселератора механически (тросом Боудена или другим механическим приводом) никак не связана с ТНВД. Положение педали акселератора определяется датчиком, сигнал которого передается в ЭБУ.

Сигнал напряжения генерируется потенциометром датчика как функция положения педали акселератора. Данное положение педали акселератора в процессе управления сопоставляется с запрограммированной кривой характеристики.

#### Датчик давления наддува

Датчик давления наддува (BPS - boost-pressure sensor) пневматически соединяется с впускным коллектором и, таким образом, измеряет абсолютное давление в пределах от 0,5 до 3,0 бар. Датчик разделен на камеру давления с двумя чувствительными элементами и на камеру для вычислительного контура. Чувствительные элементы и вычислительный контур монтируются на общем керамическом чипе.

Каждый чувствительный элемент включает в себя тонкую куполообразную диафрагму, определяющую исходный объем с определенным давлением. Перемещение диафрагмы является функцией давления наддува.

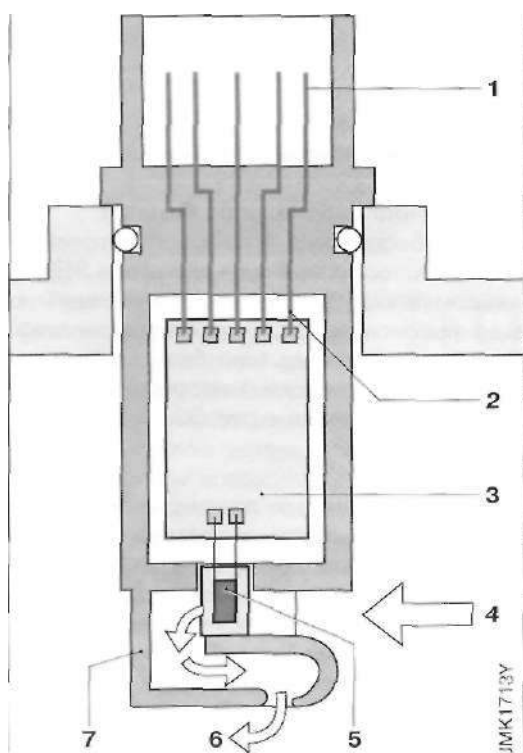
На поверхности диафрагмы расположены пьезорезисторы, сопротивление которых изменяется, когда к ним прикладывается механическое напряжение. Эти резисторы соединены в мостовую схему, так что перемещение диафрагмы вызывает изменение баланса моста, а это означает, что напряжение моста есть мера давления наддува.

Вычислительный контур служит для усиления напряжения моста, компенсации температурного влияния и линеаризации характеристики давления. Выходной сигнал оценочного контура посылается в ЭБУ, где с помощью запрограммированной кривой характеристики используется для расчета давления наддува.

Рис.31

#### Схема массового расходомера воздуха с пленочным термоанемометром

1 - выводы электрического разъема, 2 - внутреннее электрические соединения, 3 - вычислительный контур (гибридная схема), 4 - вход воздуха, 5 - чувствительный элемент датчика, 6 - выход воздуха, 7 - корпус датчика.



## Электронный блок управления

### Назначение и принцип работы

ЭБУ оценивает сигналы, полученные от внешних датчиков, и ставит ограничения по допустимому уровню напряжения.

Используя эти входные данные и хранящиеся в памяти программируемые матрицы, микропроцессор рассчитывает продолжительность и угол опережения (момент начала) впрыска и преобразует эти данные в сигналы для характеристик как функции времени, которые затем адаптируются к движению поршней. Учитывая высокие динамические нагрузки двигателя и большую частоту вращения, требуются высокие вычислительные возможности микропроцессора, чтобы соответствовать требованиям по точности вычислений. Выходные сигналы используются для запуска задающих каскадов, которые передают соответствующую мощность для всех исполнительных устройств (например, электромагнитных клапанов), включая приводы для таких функций двигателя, как рециркуляция ОГ и перепуск газов мимо турбины турбокомпрессора, а также для дополнительных функций, как реле свечей накалывания и кондиционер. Задающие каскады защищаются от разрушения и повреждений из-за короткого замыкания и электрической перегрузки. Сигналы о таких нарушениях в работе, как обрыв электрической цепи, передаются обратно в микропроцессор.

Диагностические функции задающих каскадов электромагнитных клапанов также определяют сигнальный код неисправности. Кроме того, определенное число выходных сигналов посылаются другим системам автомобиля через интерфейс. ЭБУ также отслеживает работу всей системы топливоподачи в пределах рамок концепции безопасности.

Функция открытия форсунок накладывает особо высокие требования на задающие каскады. Ток питания, подаваемый в форсунку задающими каскадами, генерирует электромагнитные силы, приложенные к электромагнитному клапану системы высокого давления форсунки. Для того чтобы обеспечить очень жесткие допуски, то есть высокую точность воспроизводимости цикловой подачи, на катушку клапана должен подаваться импульс пускового тока с крутым фронтом, что в свою очередь требует от ЭБУ возможности создания высокого напряжения.

Электрический контур управления разделяет период питания катушки клапана, то есть период впрыска топлива, на фазу уве-

личения (подъема) тока и фазу удержания тока. Работа электромагнитного клапана должна быть исключительно точной, чтобы обеспечить воспроизводимость цикловой подачи на данном эксплуатационном режиме. Кроме того, должны быть уменьшены потери в ЭБУ и форсунках.

### Эксплуатационные условия

К ЭБУ предъявляются очень высокие требования по отношению к следующим факторам:

- температуре окружающей среды (во время нормальной работы должны находиться в пределах  $-40$ - $+85^{\circ}\text{C}$  для коммерческих автомобилей и  $-40$ - $+70^{\circ}\text{C}$  для легковых автомобилей);
- к воздействию со стороны таких материалов, как масло и топливо и т.п.;
- к воздействию влажности окружающей среды;
- обладать механической прочностью, например, при наличии вибраций при работе двигателя.

Одновременно очень высокие требования касаются электромагнитной совместимости и защиты от высокочастотных помех.

### Устройство и конструкция

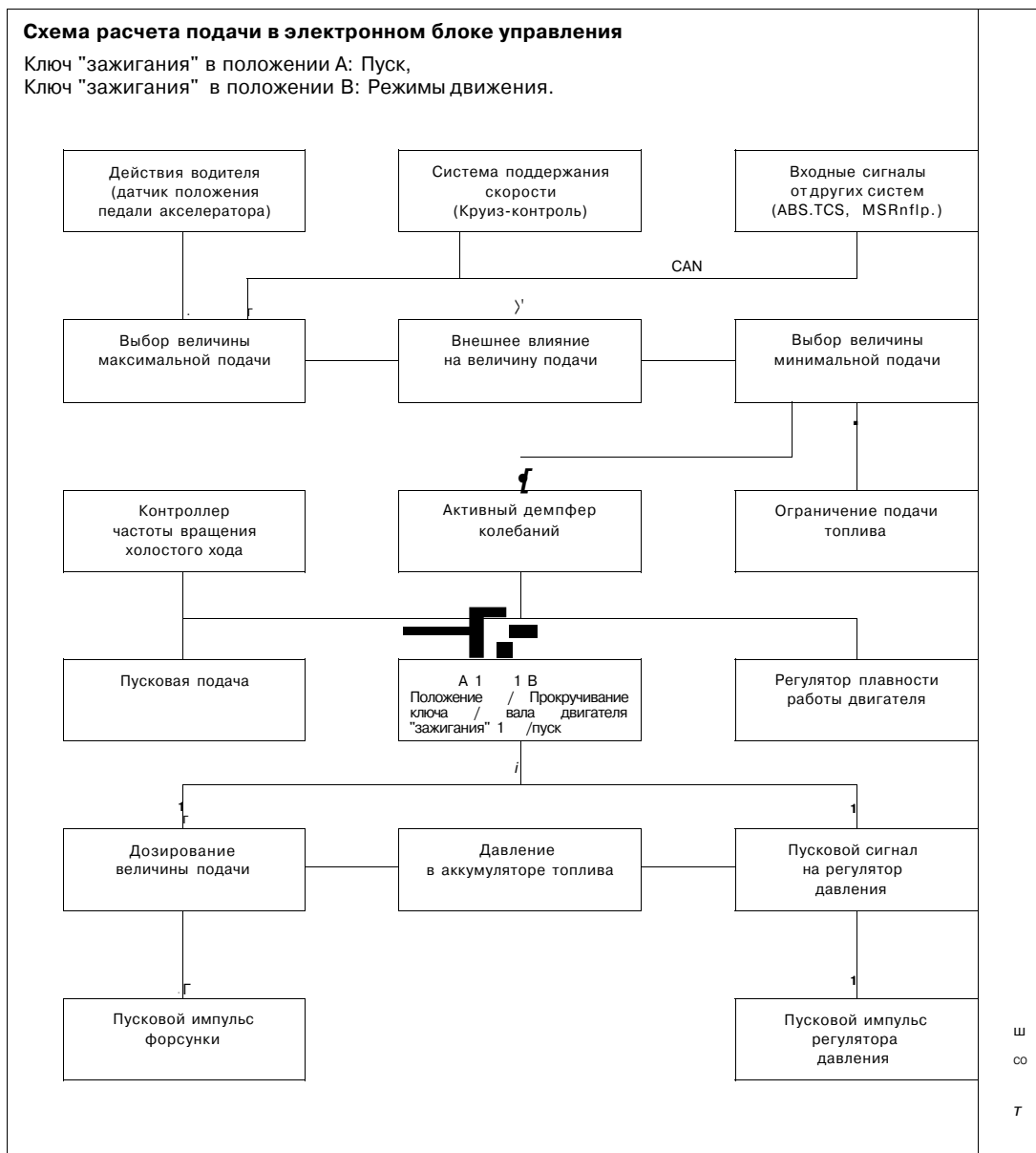
ЭБУ размещается в металлическом корпусе. Датчики, исполнительные устройства и линия подачи электрического питания подсоединяются к ЭБУ через многоштырьковый разъем. Силовые элементы, которые обеспечивают непосредственный пуск исполнительных устройств (приводов), встроены в ЭБУ таким образом, чтобы эффективно рассеивали тепловую энергию, передавая ее к корпусу ЭБУ. Применяются два варианта ЭБУ - в герметичных и негерметичных корпусах.

### Управление рабочими режимами

Для обеспечения протекания оптимального процесса сгорания в двигателе ЭБУ на каждом режиме рассчитывает необходимую в данный момент цикловую подачу топлива. В этом процессе должно быть принято во внимание множество факторов, представленных на блок-схеме рис. 32.

### Пусковая подача топлива

Пусковая подача рассчитывается как функция температуры и частоты вращения коленчатого вала при прокручивании. Пусковая доза топлива начинает впрыскиваться в момент поворота ключа "зажигания" на "Start" (положение А на рис. 32) и продолжается до достижения двигателем минимальной частоты вращения холостого хода. Водитель не может вмешиваться в этот процесс и изменять величину пусковой подачи.



Система  
электронного  
управления  
дизелей (EDC)

Рис. 32

### Режимы движения

При нормальном движении автомобиля (положение В на рис. 32) количество впрыскиваемого топлива (величина цикловой подачи) рассчитывается в зависимости от положения педали акселератора (по сигналам датчика положения педали акселератора) и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Расчетная величина подачи сопоставляется с многопараметровой характеристикой управления автомобилем, так что действия водителя и нагрузка двигателя оптимально соответствуют друг другу.

### Регулирование минимальной частоты вращения холостого хода

Расход топлива на режиме холостого хода в основном зависит от механического КПД

двигателя и частоты вращения. Поскольку значительная часть расхода топлива автомобилем приходится на движение в условиях интенсивного транспортного потока, очевидно, что частота вращения холостого хода должна поддерживаться как можно более низкой. При этом минимальная частота вращения холостого хода не должна сильно снижаться под нагрузкой, что приводит к неравномерной работе двигателя и даже к его остановке. Это может иметь место, например, при увеличении нагрузки в электрической системе автомобиля, когда включен кондиционер, включении передачи в автоматической трансмиссии или при работе усилителя рулевого управления. Для регулирования минимальной частоты вращения контроллер холостого хода изменяет

величину подачи топлива до тех пор, пока действительная частота вращения не станет равной требуемой для данных условий. Требуемая частота вращения и характеристика управления зависят также от температуры охлаждающей жидкости двигателя (по сигналу датчика температуры охлаждающей жидкости). Кроме учета влияния внешней нагрузки, следует также принимать во внимание моменты внутреннего трения и компенсировать их соответствующим регулированием частоты вращения. Эти изменения минимально, но постоянно осуществляются в течение всего срока эксплуатации автомобиля.

## Регулирование плавности работы двигателя

Из-за наличия допусков при изготовлении и в зависимости от износа двигателя имеются различия в величине крутящих моментов, создаваемых отдельными цилиндрами. Это особенно проявляется на минимальном режиме холостого хода, что приводит к неравномерной, с рывками, работе двигателя. Система управления плавностью работы двигателя отслеживает изменения в его работе в каждый момент времени, когда происходит вспышка в цилиндрах, и сравнивает работу цилиндров друг с другом. Затем происходит регулирование количества впрыскиваемого топлива в каждый цилиндр в зависимости от измеренной разницы в частоте вращения между отдельными цилиндрами, в результате чего вклад каждого цилиндра в создание крутящего момента двигателя оказывается одинаковым. Регулирование плавности работы двигателя осуществляется только в области малых частот вращения двигателя.

## Управление скоростью автомобиля (система Cruise Control)

Контроллер системы поддержания скорости автомобиля (Cruise Control) позволяет обеспечить управление автомобилем с заданной постоянной скоростью движения. Он поддерживает скорость автомобиля в соответствии со значением, выбранным водителем с помощью переключателя, находящегося на приборной панели.

На этом режиме подача топлива увеличивается или уменьшается до достижения действительной скорости, равной заданной. "Cruise Control" находится в действии до тех пор, пока водитель не нажмет на педаль сцепления или на педаль тормоза. Если нажимается педаль акселератора, то автомобиль может ускоряться выше скорости, установленной системой, а если педаль отпускается, то снова поддерживается ранее установленная скорость. Если система "Cruise

Control" была отключена, то для повторной установки последней выбранной постоянной скорости водителю достаточно нажать на кнопку включения системы.

## Управление режимом ограничения подачи топлива

Имеется ряд причин, когда величина подачи, устанавливаемая по желанию водителя (или максимально возможная подача) должна быть уменьшена. Такими причинами являются:

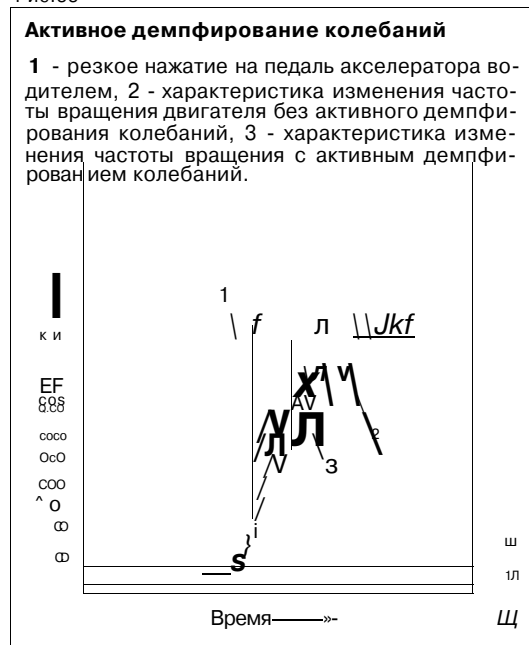
- высокая эмиссия вредных веществ с ОГ;
- высокая эмиссия частиц сажи;
- механическая перегрузка при максимальном моменте или при большом превышении частоты вращения;
- термическая перегрузка как результат слишком высокой температуры охлаждающей жидкости, масла или отработавших газов турбокомпрессора.

Ограничение количества впрыскиваемого топлива формируется по ряду входных параметров, например, по массовому расходу воздуха, частоте вращения коленчатого вала и температуре охлаждающей жидкости.

### Демпфирование колебаний частоты вращения

В случае резкого нажатия или отпускания педали акселератора возникают быстрые изменения величины подачи, что, в свою очередь, вызывает быстрые изменения крутящего момента, развиваемого двигателем. Такие резкие изменения нагрузки двигателя приводят к образованию "упругих" вибраций опор двигателя и трансмиссии, как результат колебаний частоты вращения (рис. 33).

Рис.33



Активный демпфер уменьшает такие периодические колебания частоты вращения путем изменения величины подачи с той же частотой, что и частота колебаний частоты вращения, а именно: меньшее количество топлива впрыскивается при увеличении частоты вращения и большее - при уменьшении. Так достигается эффективное демпфирование колебаний.

#### Остановка двигателя

Дизель является двигателем с воспламенением от сжатия. Это означает, что он может быть остановлен только при прекращении подачи топлива.

При наличии системы электронного управления дизеля (EDC) двигатель останавливается по обусловленной в EDC программе "нулевой" подачи топлива. Система предусматривает также различные дополнительные пути остановки двигателя.

## Исполнительные устройства (рис. 34)

### Форсунки

В топливной системе CR применяются электрогидравлические форсунки с управляющим электромагнитным клапаном, которые обеспечивают эффективный пуск и точное дозирование количества впрыскиваемого топлива.

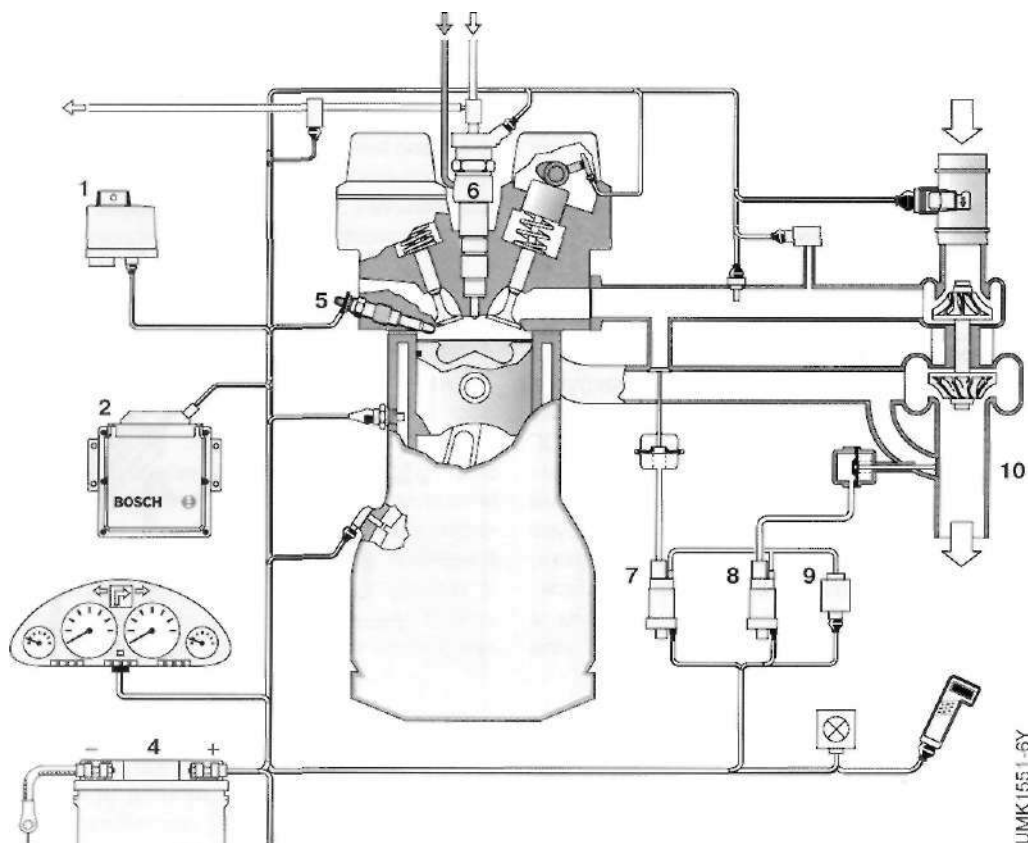
В начале процесса впрыска на электромагнитный клапан подается большой ток, что обеспечивает быстрое открытие клапана. Как только игла форсунки полностью поднимается и, следовательно, распылитель форсунки полностью открыт, ток на обмотке катушки клапана уменьшается до удерживающей величины. Величина подачи определяется теперь временем открытия форсунки и давлением в аккумуляторе топлива. Процесс впрыска прекращается при прекращении

*Система электронного управления дизелей (EDC)*

Рис. 34

#### Исполнительные устройства и другие элементы системы "Common Rail"

1 - блок управления свечами накаливания, 2 - ЭБУ, 3 - панель приборов с указателями расхода топлива, частоты вращения и т.д., 4 - аккумуляторная батарея, 5 - свеча накаливания, 6 - форсунка, 7 - привод клапана системы рециркуляции ОГ, 8 - привод перепускного клапана турбокомпрессора, 9 - вакуумный насос, 10 - турбокомпрессор.



UMK1551-6Y

питания электромагнитного клапана (отключения пускового сигнала) и, как результат, его закрытия.

#### Регулятор давления

ЭБУ использует регулятор давления для регулирования давления в аккумуляторе. При подаче напряжения на обмотку электромагнита клапана регулятора давления электромагнитные силы "сажают" якорь на седло, и клапан закрывается. Стороны высокого и низкого давления оказываются при этом изолированными друг от друга, и давление в аккумуляторе повышается.

В режиме отключения питания электромагнитная сила на якорь не действует, клапан открывается, и топливо может вытекать из аккумулятора обратно в бак через коллектор линии возврата топлива. Давление топлива в аккумуляторе падает.

В системе имеется возможность изменять давление в аккумуляторе подачей пульсирующего пускового тока. Диапазон регулирования периодов открытия и закрытия клапана регулятора давления зависит от принятого рабочего цикла.

#### Блок управления свечами накаливания

ЭБУ свечами накаливания служит для обеспечения надежного холодного пуска дизеля. Он также сокращает период прогрева двигателя, что, очевидно, эффективно для снижения эмиссии вредных веществ с ОГ. Время предварительного подогрева является функцией температуры охлаждающей жидкости, а дальнейшая фаза подогрева во время пуска или когда двигатель уже начал работать, определяется определенным числом параметров, включающих частоту вращения двигателя и цикловую подачу. Система управления работой свечей накаливания использует силовое реле.

#### Электропневматический преобразователь

Клапаны или заслонки регулятора закрутки потока воздуха на впуске, клапан системы рециркуляции ОГ и перепускной клапан ОГ турбокомпрессора имеют механический привод, работающий под действием давления или разрежения. ЭБУ двигателя формирует соответствующий электрический сигнал, который преобразуется электропневматическим преобразователем, подающим к соответствующему клапану давление или разрежение.

#### Клапан перепуска ОГ в турбокомпрессоре

Двигатели легковых автомобилей с турбонаддувом должны иметь высокий крутящий момент даже на малых скоростных режимах. Следовательно, проходные сечения

каналов в корпусе турбокомпрессора проектируются для небольших массовых расходов ОГ. Поэтому для предотвращения развития слишком большого давления наддува в условиях больших массовых расходов газов часть ОГ должна перепускаться мимо турбины в систему выпуска посредством клапана перепуска. Для этого проходное сечение клапана перепуска ОГ (рис. 35) изменяется в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя, количества впрыскиваемого топлива и т.д.

Вместо клапана перепуска может использоваться конструкция турбокомпрессора с поворотными лопатками соплового аппарата (VTG). В этом случае можно изменять угол входа ОГ в колесо турбины, что, соответственно, изменяет давление наддува воздуха.

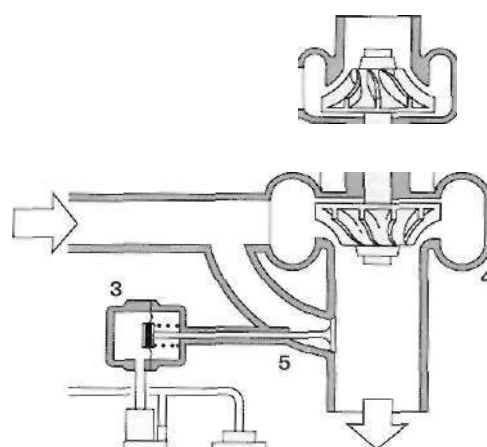
#### Регулятор закрутки потока воздуха на впуске

Регулятор закрутки потока воздуха на впуске служит для изменения момента количества движения потока воздуха на впуске в цилиндры двигателя. Сама закрутка обычно создается специально профилированными спиральными впускными каналами, а интенсивность закрутки определяет интенсивность смешения топлива и воздуха в камере сгорания и, следовательно, оказывает

Рис 35

#### Клапан перепуска ОГ в турбокомпрессоре

1 - привод клапана перепуска, 2 - вакуумный насос, 3 - пневмопривод, 4 - турбокомпрессор, 5 - клапан перепуска.



О!

значительное влияние на качество процесса сгорания. Как правило, более сильная закрутка создается на низких частотах вращения, а слабая закрутка - на высоких. Интенсивность закрутки может регулироваться посредством регулятора закрутки (лепестковый или золотниковый клапан), расположенного вблизи впускного клапана.

#### Клапан системы рециркуляции ОГ

В системе рециркуляции ОГ предусматривается перепуск части ОГ во впускной коллектор двигателя. Увеличение содержания остаточных газов в цилиндре в определенной степени дает положительный эффект преобразования энергии и, следовательно, по снижению эмиссии вредных веществ с ОГ. В зависимости от рабочего режима двигателя масса воздуха с газом, подаваемая в цилиндры, может содержать до 40% перепускаемых ОГ (рис. 36 и 37). Управление системой рециркуляции ОГ осуществляется ЭБУ, который сравнивает измеренный массовый расход воздуха с предустановленным его значением в каждой точке работы двигателя. Клапан системы рециркуляции ОГ открывается по сигналу управляющего контура, позволяя ОГ поступать во впускной коллектор.

#### Дроссельная заслонка в системе рециркуляции ОГ

Дроссельная заслонка, управляемая электропневматическим клапаном, выполняет в дизеле совершенно другую функцию, в отличие от бензинового двигателя. В дизеле она служит для увеличения степени рециркуляции ОГ путем снижения повышенного давления во впускном коллекторе. Регулирование дроссельной заслонкой осуществляется только на малых скоростных режимах.

### Обмен информацией

#### Связь между электронными блоками управления

Связь между ЭБУ двигателя и другими ЭБУ автомобиля осуществляется через контроллер сети - систему шин передачи данных CAN. Эта система служит для передачи желаемых и установочных значений параметров, эксплуатационных данных и информации о состоянии систем, что требуется для определения ошибок и эффективного управления.

#### Внешнее влияние на величину цикловой подачи топлива

Внешнее влияние на величину цикловой подачи оказывают ЭБУ других систем (например, ABS, TCS), которые информируют

Влияние степени рециркуляции ОГ на эмиссию токсичных компонентов

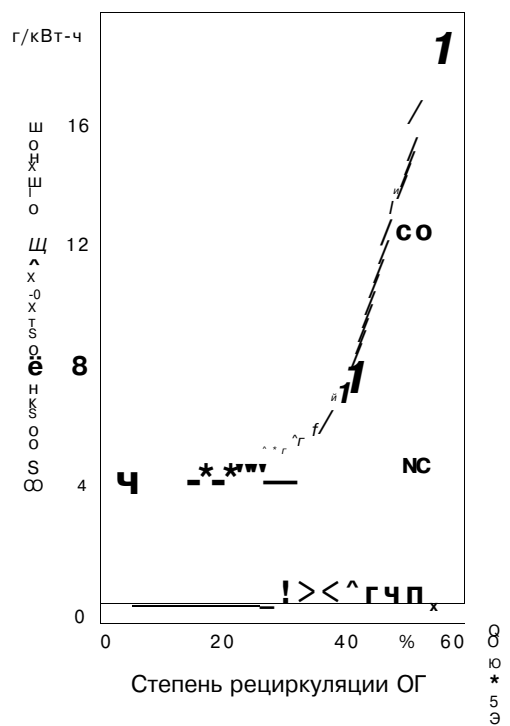
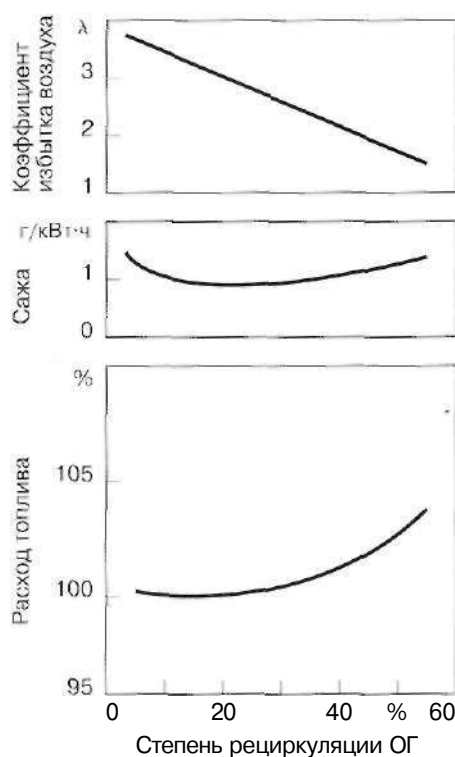


Рис. 36

Рис. 37

Влияние степени рециркуляции ОГ на коэффициент избытка воздуха  $\lambda$ , эмиссию сажевых частиц и расход топлива



Система электронного управления дизелей (EDC)



ЭБУ двигателя о том, нужно ли изменять величину крутящего момента двигателя (и, следовательно, величину подачи), и если так, то насколько.

#### Электронный иммобилайзер

Одной из мер защиты от угона автомобиля является ЭБУ иммобилайзер, который может быть установлен для предотвращения несанкционированного пуска двигателя. При этом водитель может использовать сигнал дистанционного управления, чтобы сообщить ЭБУ, что он намеревается использовать автомобиль. ЭБУ иммобилайзера сообщает затем ЭБУ двигателя, что запрет на подачу топлива может быть снят, и двигатель может запуститься.

#### Кондиционер

При высокой температуре окружающей среды кондиционер использует компрессор холодильной установки для охлаждения воздуха внутри салона автомобиля до приемлемой температуры. В зависимости от типа двигателя и режимов движения потребляемая мощность кондиционеров находится в пределах от 1 до 30% от мощности двигателя. Таким образом, целью здесь является не только управление температурным режимом, но в большей степени оптимальное использование мощности двигателя для движения. Если водитель использует агрессивный стиль вождения, другими словами, хочет получить от двигателя максимальный крутящий момент, то ЭБУ на короткий период выключает компрессор кондиционера.

### Встроенная система диагностики

#### **Текущий контроль датчиков**

Для того чтобы удостовериться в наличии нормального напряжения питания и в том, что выходной сигнал датчика находится в допустимых пределах (например, для температурного датчика это диапазон между -40 и +150°C), работа датчиков отслеживается встроенными диагностическими устройствами. По возможности, важные

сигналы дублируются (принцип резервирования) и, таким образом, всегда есть возможность получения другого подобного сигнала в случае неисправности.

#### **Модуль текущего контроля**

В дополнение к микропроцессору в ЭБУ двигателя имеется также модуль текущего контроля, при этом они отслеживают взаимную работу. Если в процессе работы определяется наличие ошибки, каждый из блоков системы может прекратить подачу топлива независимо от другого блока.

#### **Определение неисправностей**

Определение неисправностей возможно только в пределах диапазона работы данного датчика. Путь прохождения сигнала идентифицируется как неисправность, если она присутствует в течение более долгого периода времени по сравнению с предустановленным. В этом случае код неисправности сохраняется в памяти ЭБУ двигателя вместе с данными условий, при которых неисправность случилась (температура охлаждающей жидкости, частота вращения коленчатого вала и т.д.). Для многих неисправностей возможна повторная проверка датчика ("OK again"), при этом путь прохождения сигнала должен идентифицироваться как неповрежденный в течение определенного периода времени.

#### **Реакция в случае наличия неисправности**

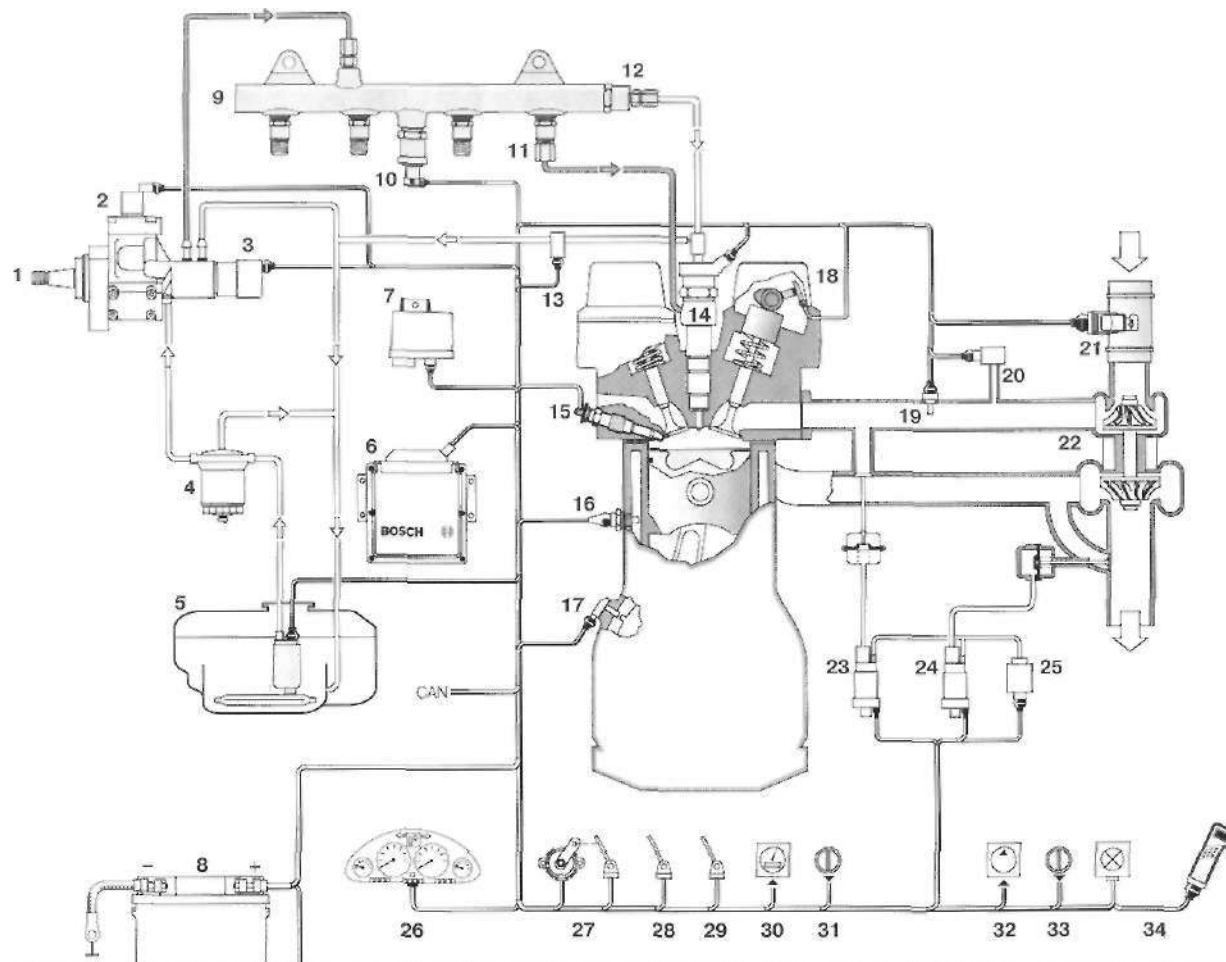
Если выходной сигнал датчика выходит за допустимые пределы, то происходит переключение на значение сигнала по умолчанию. Эта процедура используется применительно к следующим входным сигналам:

- напряжению аккумуляторной батареи,
- температуре охлаждающей жидкости, воздуха на впуске, моторного масла,
- давлению наддува,
- атмосферному давлению,
- расходу воздуха на впуске.

Кроме того, происходит замена сигнала датчика положения педали акселератора в случае недостоверных сигналов от датчиков положения педали акселератора и/или тормозов.

# Схема топливной системы "Common Rail" с различными компонентами

- 1 ТНВД,
- 2 электромагнитный клапан выключения подачи,
- 3 редукционный клапан ТНВД,
- 4 фильтр тонкой очистки топлива,
- 5 топливный бак с фильтром - топливозаборником и подкачивающим насосом,
- 6 ЭБУ,
- 7 блок управления свечами накаливания,
- 8 аккумуляторная батарея,
- 9 аккумулятор топлива высокого давления,
- 10 датчик давления топлива в аккумуляторе,
- 11 ограничитель подачи топлива,
- 12 клапан-регулятор давления,
- 13 датчик температуры топлива,
- 14 форсунка,
- 15 свеча накаливания с закрытым нагревательным элементом,
- 16 датчик температуры охлаждающей жидкости,
- 17 датчик частоты вращения коленчатого вала,
- 18 датчик частоты вращения распределительного вала,
- 19 датчик температуры воздуха на впуске,
- 20 датчик давления наддува,
- 21 массовый расходомер воздуха,
- 22 турбокомпрессор,
- 23 привод клапана системы рециркуляции ОГ,
- 24 привод клапана перепуска ОГ,
- 25 вакуумный насос,
- 26 панель приборов с указателями расхода топлива, частоты вращения и т.д.,
- 27 датчик положения педали акселератора,
- 28 датчик положения педали тормоза,
- 29 концевой выключатель на педали сцепления,
- 30 датчик скорости автомобиля,
- 31 электронный блок управления системой поддержания скорости автомобиля (Cruise Controller),
- 32 компрессор кондиционера,
- 33 блок управления компрессором кондиционера,
- 34 дисплей системы диагностики с диагностическим разъемом.



UMK1551Y