

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование кафедры)

23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Автомобили и автомобильное хозяйство»

(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Разработка мультимедийного учебного пособия: «Устройство,  
принцип работы и техническое обслуживание электронной системы впрыска  
дизельного двигателя»

Студент

М.Г.Маханько

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.А. Ивлиев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

С.А.Гудкова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заместитель ректора - директор  
института машиностроения

к.т.н., доцент А.В. Бобровский

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2017

## АННОТАЦИЯ

Тема данной выпускной квалификационной (бакалаврской) работы: Разработка мультимедийного учебного пособия: «Устройство, принцип работы и техническое обслуживание электронной системы впрыска дизельного двигателя». Выпускная квалификационная работа включает в себя три раздела. Данное учебное пособие разработано для студентов по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», рассмотрено устройство, принцип работы, особенности эксплуатации, технического обслуживания и ремонта топливной аппаратуры дизельного двигателя с электронной системой управления (Common Rail). Выпускная квалификационная работа включает в себя три раздела.

В первом разделе проведён обзор и анализ двигателей внутреннего сгорания и систем топливоподачи дизельных двигателей, рассмотрены особенности устройства и работы механической системы топливоподачи дизельного двигателя.

Во втором разделе, рассмотрены особенности устройства электронной системы управления подачей дизельного топлива Common Rail. Эта система включает в себя электронный блок управления, датчики и исполнительные механизмы, такие как: топливо подкачивающий насос высокого давления, форсунки, клапан управления давлением.

В третьем разделе рассматриваются особенности технического обслуживания и ремонта топливной аппаратуры системы Common Rail.

Выпускная квалификационная работа содержит пояснительную записку в объёме 57 страниц, содержит 33 рисунка и 3 видео ролика.

На первом видео ролике, показано устройство и принцип работы дизельного двигателя. На втором видео ролике, рассмотрены устройства и

принципы работы топливной системы, форсунки, топливного насоса высокого давления и описание работы турбокомпрессора. На третьем видео ролике, показана технология промывки дизельной системы.

## ABSTRACT

The graduation work is devoted to the development of a multimedia manual named "The electronic system of diesel engine injection system: arrangement, mode of functioning and maintenance ". This training manual was developed for students graduating a training program "Transport and Technological Machines Operation and Maintenance ".

The fuel injection equipment with electronic control system Common Rail, its arrangement, operation, maintenance and repair are studied. The graduation work includes three sections.

The first part provides a review and analysis of internal combustion engines and fuel supply systems for diesel engines. The features of the diesel fuel engine and mechanical engine fuel supply are represented.

The second part reveals the features of the fuel injection equipment with electronic control system Common Rail. This system includes an electronic control unit, sensors and actuators including a high pressure fuel pump, injectors and a pressure control valve.

The third section examines the maintenance and repair of the fuel injection equipment with electronic control system Common Rail.

The graduation work contains an explanatory note in the volume of 57 pages including 33 drawings and 3 videos.

The first video represents the arrangement and the principle of the diesel engine activity. On the second video the arrangement and principles of the fuel system operation including the Injector, the high-pressure fuel pump and the operation of the turbocharger are shown. The third video reveals the technology the diesel system purging.

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	7
1. Обзор двигателей внутреннего сгорания и систем топливоподачи дизельных двигателей	8
2. Электронная система управления подачей дизельного топлива Common Rail	14
2.1 Общее устройство системы Common Rail	14
2.2 Электронный блок управления	18
2.3 Датчики системы Common Rail	20
2.4 Исполнительные механизмы системы Common Rail	29
2.4.1 Устройство и принцип работы топливоподкачивающего насоса	29
2.4.2 Устройство и принцип работы топливного насоса высокого давления	32
2.4.3 Устройство и принцип работы регулятора потока топлива	34
2.4.4 Устройство и принцип работы регулятора давления топлива	36
2.4.5 Устройство и принцип работы топливной рампы	38
2.4.6 Устройство и принцип работы форсунок	40
2.4.7 Устройство и принцип работы турбокомпрессора	45
2.4.8 Устройство и принцип работы системы рециркуляции отработавших газов	49
3. Техническое обслуживание топливной аппаратуры системы Common Rail	52

3.1 Проверка дизельных форсунок. Диагностика форсунок Common Rail	52
3.2 Промывка дизельной систем топливоподачи Common Rail	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	55

## ВВЕДЕНИЕ

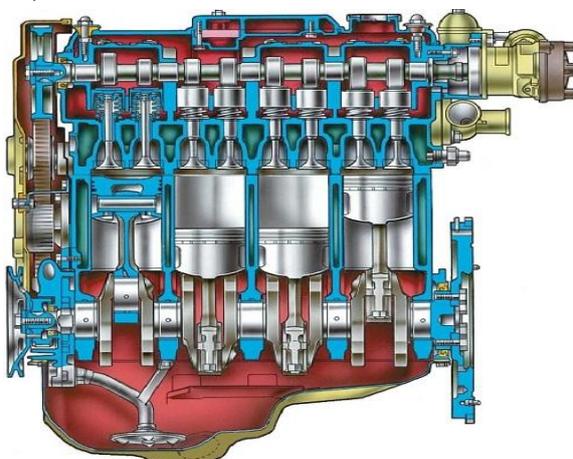
Требования к системам впрыска дизельного топлива постоянно растут. Более высокие давления впрыскивания, повышенные скорости срабатывания форсунок и гибкая настройка рабочего процесса к условиям эксплуатации автомобиля делают двигатель более мощным, экономичным и малотоксичным. Кроме того система впрыска топлива всё более интегрируется в общую электронную схему управления автомобилем. Одной из таких высокоразвитых систем впрыска является аккумуляторная система Common Rail, основным преимуществом которой является широкий диапазон изменения давления топлива и момента начала впрыска. Это реализуется путём разделения процессов создания давления и обеспечения впрыска топлива.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка учебного пособия для студентов, изучив которое они смогут, приобрести определенные умения и навыки для обслуживания и диагностики системы Common Rail.

# 1 Обзор двигателей внутреннего сгорания и систем топливоподачи дизельных двигателей

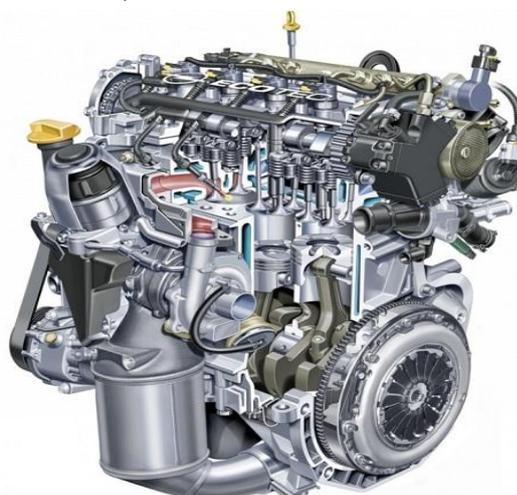
Двигатель внутреннего сгорания – это устройство, преобразующее энергию сгорания топлива в механическую работу. В современном мире используют бензиновые, дизельные, роторно – поршневые двигатели внутреннего сгорания, а так же существуют гибридно силовые установки (рисунок 1).

а)



**Бензиновый двигатель  
(карбюраторный)**

б)



**Дизельный двигатель**

в)



г)



Рисунок 1 – Двигатели внутреннего сгорания

В данном учебном пособии рассмотрены устройство, принцип работы, особенности эксплуатации, технического обслуживания и ремонта топливной аппаратуры дизельного двигателя с электронной системой управления (Common Rail).

Какие ассоциации появляются при слове дизель? Наверное, клубящий из КамазАдым, а если еще и холод то, наверное, проблематичный пуск мотора.

И это мировоззрение формируется почти у всех. Однако прогресс не стоит на месте, с каждым днём на наших дорогах все больше прекрасных и модернизированных дизельных машин. Чтоб поменять ваше мировоззрение, давайте рассмотрим, устройство дизельного двигателя, индивидуальности его топливной системы, виды дизельных ДВС их достоинства и недостатки. Для них характерны такие преимущества, как высокий крутящий момент и экономичность. КПД дизельного двигателя значительно превышает КПД бензинового. Данные особенности более подходят для автомобилей внедорожного типа, которые будут работать в не самых лучших условиях. И, как правило, в линейке джипов, всегда найдется модель с дизельным двигателем.

Дизельные двигатели отличаются друг от друга числом цилиндров, мощностью, формой камеры сгорания, устройством и принципом работы топливной аппаратуры. Большинство дизельных двигателей работает по четырехтактному циклу:

- такт впуска
- такт сжатия
- такт рабочего хода
- такт выпуска (рисунок 2)

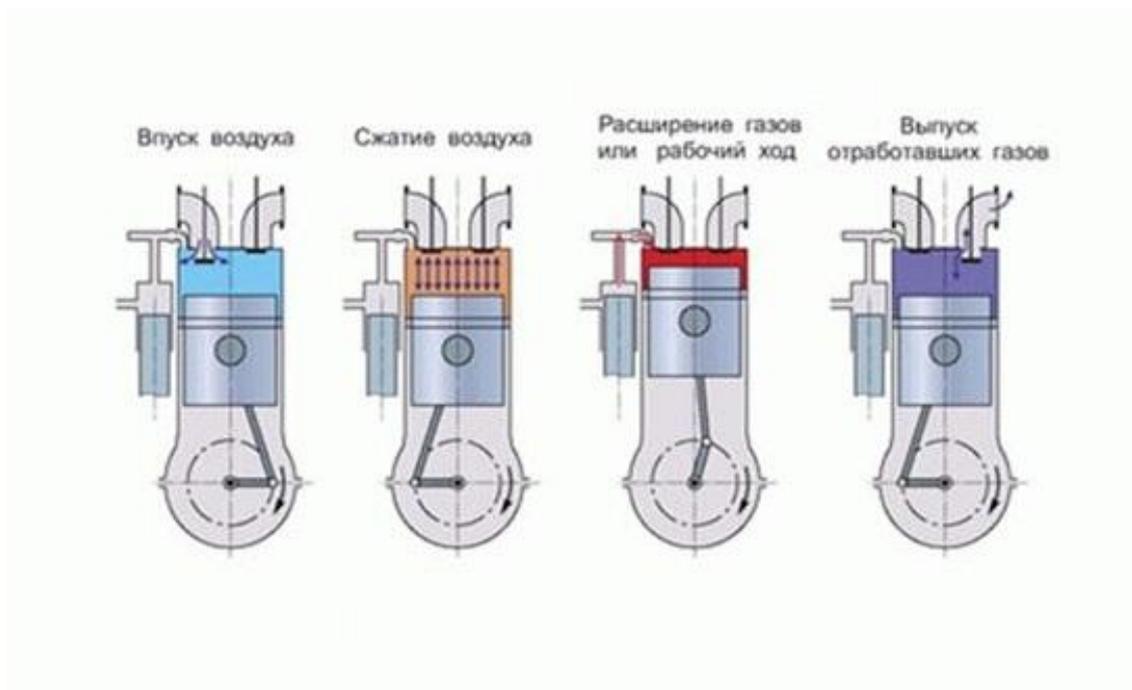


Рисунок 2 - Схема работы четырёхтактного дизеля

При работе дизельного двигателя воспламенение топлива происходит от температуры, которая повышается в цилиндре при движении поршня от нижней до верхней мертвой точки. В конце такта сжатия давление воздуха достигает 4 – 5 МПа, при этом его температура повышается до 500 -700 °С. В этот момент в цилиндр впрыскивается топливо, которое соприкасаясь с горячим воздухом, испаряется и химически видоизменяется. Этот короткий промежуток времени называется периодом задержки воспламенения. Под действием высокой температуры воздуха топливо воспламеняется. При этом давление в цилиндре повышается до 6 – 8 МПа, а температура газов до 2000 градусов. В процессе расширения газов их тепловая энергия преобразуется в механическую. К моменту открытия выпускного клапана давление в цилиндре снижается до 0.3 – 0.4 МПа.

В современных дизельных двигателях применяется топливная аппаратура двух основных типов:

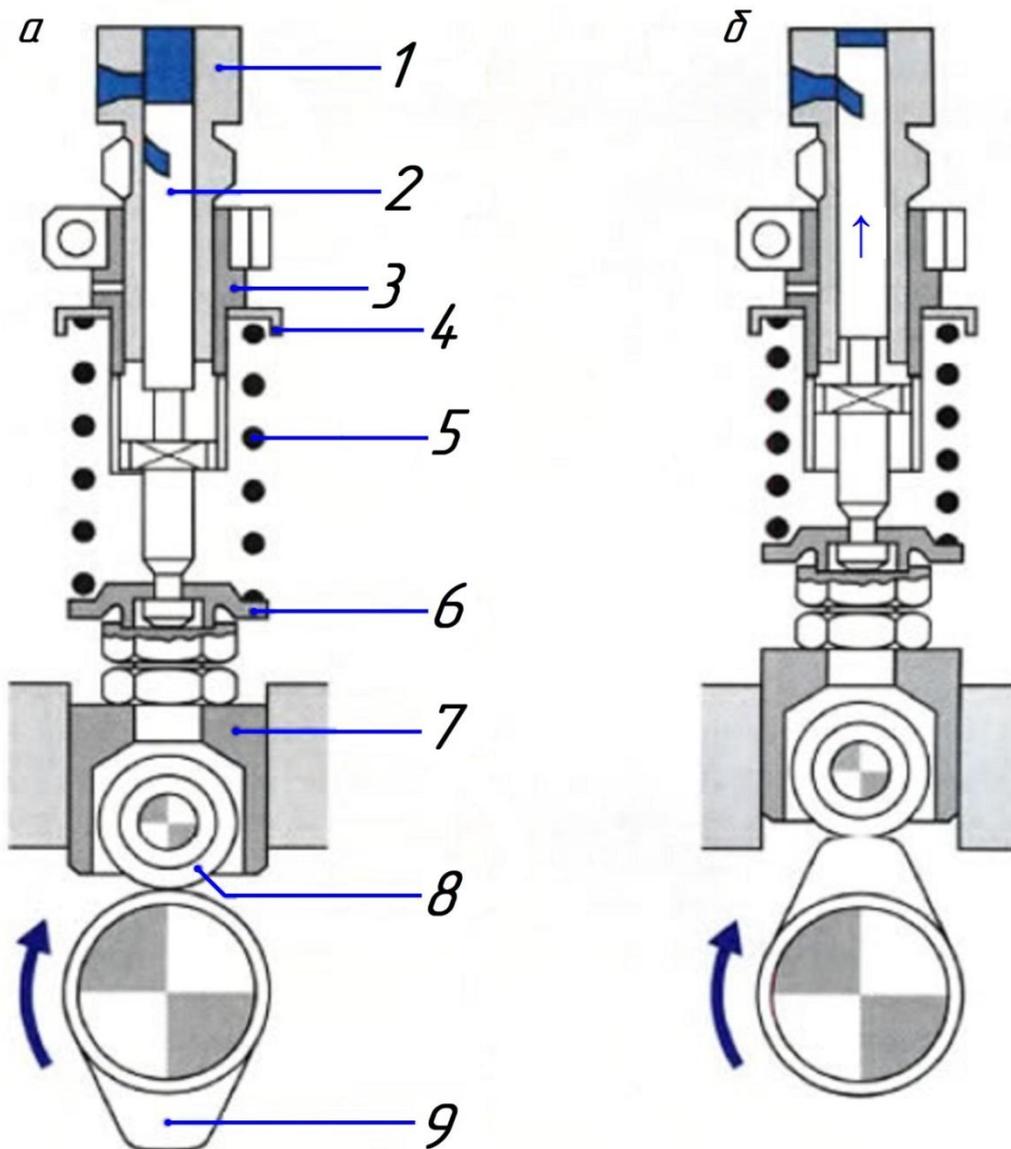
- с механической подачей и регулированием количества топлива в камеру сгорания;
- с электронной системой управления. (Common Rail)

Дизельная топливная аппаратура с механической подачей и регулированием количества топлива в камеру сгорания включает в себя:

- топливный бак;
- фильтр тонкой и грубой очистки;
- топливную магистраль высокого и низкого давления;
- топливоподкачивающий насос;
- топливный насос высокого давления(ТНВД);
- форсунки.

Топливо содержится в баке, очищается в фильтре грубой очистки от крупных частиц и поступает в топливный насос низкого давления, из которого под небольшим давлением по топливопроводу подаётся к фильтру тонкой очистки. Далее очищенное топливо поступает в топливный насос высокого давления и при помощи плунжерной пары нагнетается к форсункам и впрыскивается в цилиндр. Излишки топлива через перепускной клапан и трубопровод отводятся в бак.

ТНВД подаёт в форсунки каждого цилиндра строго определенное количество топлива под высоким давлением в соответствии с порядком работы и заданным режимом. При этом момент подачи топлива зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя и меняется по определенной характеристике. Каждая секция ТНВД (рисунок 3) состоит из плунжера и втулки плунжера, которые индивидуально подогнаны друг к другу и образуют подвижное соединение с минимальным зазором.



а - НМТ плунжера, б - ВМТ плунжера; 1 – гильза плунжера; 2 – плунжер; 3 – регулировочная втулка; 4 – верхняя чашка возвратной пружины; 5 – плунжерная пружина; 6 – нижняя чашка пружины; 7 – толкатель роликовый; 8 – ролик; 9 – кулачок вала ТНВД.

Рисунок 3 –Секция ТНВД

Форсунка служит для распыления топлива в соответствии с формой и объемом камеры сгорания. Под давлением 18-20МПа топливо поступает к игле

и поднимает её, проходит через сопло и в распыленном виде поступает в цилиндр.

## 2 Электронная система управления подачей дизельного топлива Common Rail

### 2.1 Общее устройство системы Common Rail

Система Common Rail выполняет две основные функции: подаёт дизельное топливо в требуемом количестве в нужный момент времени, что обеспечивает экономичную и плавную работу двигателя. Кроме того, имеются дополнительные функции, предназначенные для снижения токсичности отработавших газов, расхода топлива, повышения безопасности эксплуатации, комфорта и удобства управления.

Система Common Rail включает в себя: топливный бак, в котором располагается топливоподкачивающий насос, топливоподающую арматуру, датчик положения распределительного вала – 2, электронный блок управления (ЭБУ) – 3, топливный насос - 4, электронную педаль акселератора – 5, топливный фильтр – 6, датчик температуры охлаждающей жидкости – 8, топливные форсунки – 9, датчик давления дизельного топлива – 10, топливную рампу – 11. (Рисунок 4, 4.1)

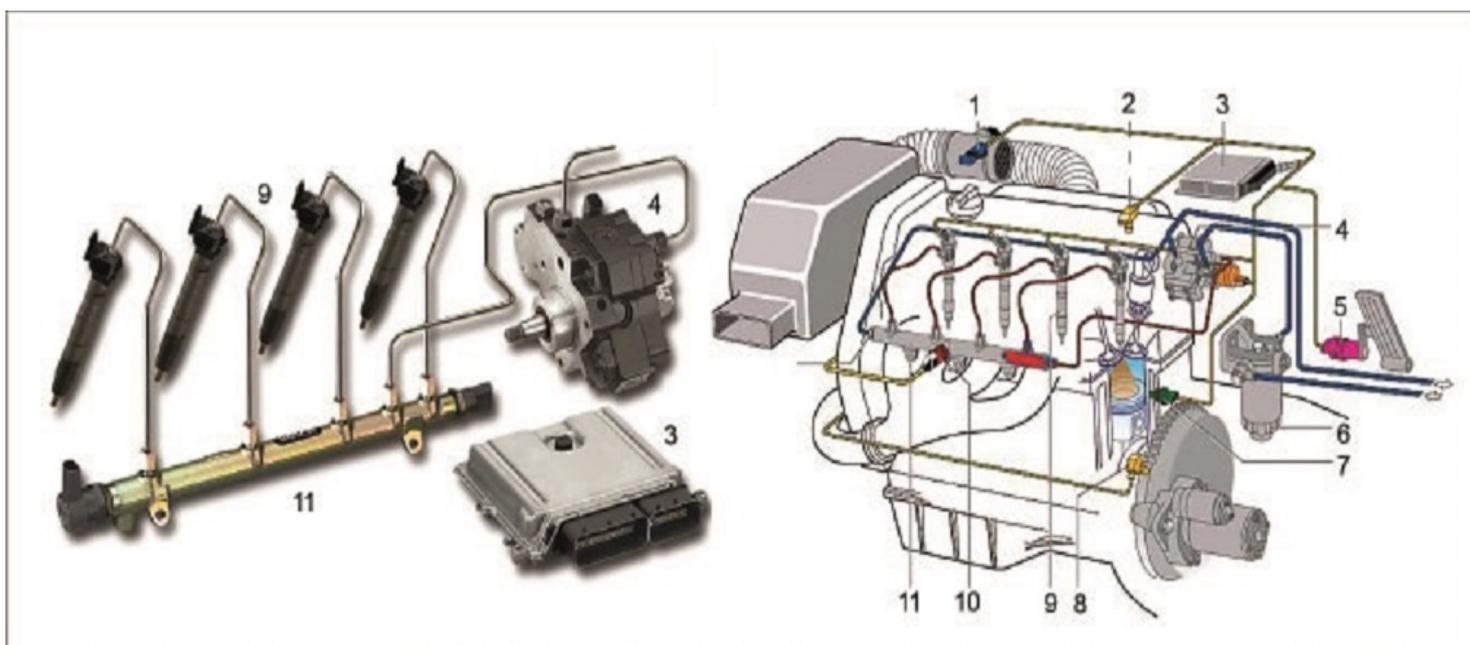
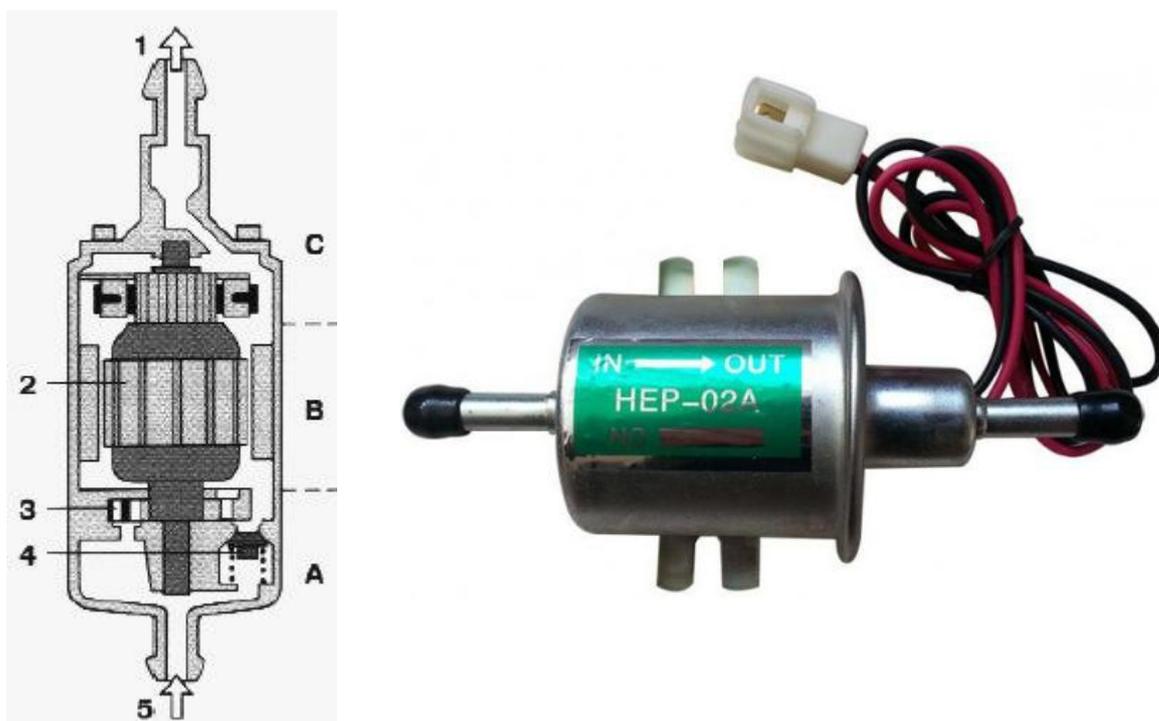


Рисунок 4 – Система Common Rail



Топливоподкачивающий насос располагается, как правило, в топливном баке. Он служит для подачи топлива к топливному насосу высокого давления через фильтры и должен обеспечивать необходимую производительность независимо от режима работы двигателя внутреннего, быть малошумным, обеспечивать необходимое давление. Ресурс его работы, должен соответствовать полному сроку службы автомобиля. В настоящее время существуют два типа топливоподкачивающих насосов: - электрический роторный (роликовый) насос, и альтернативный - шестеренчатый насос с механическим приводом.

Топливоподкачивающий насос с электрическим приводом применяется только в двигателях легковых и легких коммерческих автомобилей. Он выполняет функцию прекращения подачи топлива в случае аварии.



А – насосная секция. В – электромотор. С – крышка  
1-сторона нагнетания; 2 – якорь электромотора; 3 – роликовый насос; 4 – перепускной клапан; 5 –сторона всасывания

Рисунок 5 – Электрический подкачивающий насос

Топливоподкачивающий насос шестеренчатого типа применяется на легковых, коммерческих и внедорожных автомобилях. Он может быть интегрирован в корпус ТНВД и иметь общий привод или устанавливаться на двигатель и иметь индивидуальный привод. Обычно применяется зубчатый ремень или шестеренчатый привод.

В линиях низкого давления используются пламя защитные армированные гибкие шланги или стальные трубки. Они защищены от механических повреждений и проложены таким образом, чтобы исключить возможность испарения топлива. При деформировании кузова в случае аварии или перемещении двигателя трубопроводы не должны разрушаться. Кроме того, они должны быть защищены от нагрева.

Для подачи топлива от насоса высокого давления к рампе используются трубопроводы, которые изготавливаются из стальных трубок и имеют наружный диаметр 6 мм, внутренний диаметр 2,4 мм и рассчитаны на давление свыше 250 МПа (рисунок 6). Они должны выдерживать возможные высокочастотные пики давления, возникающие в интервалах между впрысками.



Рисунок 6 – Трубопроводы высокого давления

Все трубки, соединяющие рампу с форсунками должны иметь одинаковую длину. Разница в расстояниях между рампой и конкретной форсункой компенсируется изгибами трубок. Трубопроводы высокого давления должны быть как можно короче.

## 2.2 Электронный блок управления.

Для управления процессами работы дизельного двигателя и информировании водителя и диагноста о различных неисправностях используется электронный блок управления (рисунок 7).



Рисунок 7 – Электронный блок управления

Он представляет собой цифровой микропроцессорный комплекс со специальным (для каждого типа двигателя) программным обеспечением для:

- автоматического поддержания заданной частоты вращения в соответствии с ПИД-законом регулирования по статической или астатической характеристике на всех скоростных и нагрузочных режимах (функция регулятора частоты вращения двигателя);
- автоматического поддержания заданной мощности тягового генератора (в системах регулирования мощности);
- обеспечения работы дизеля по ограничительной характеристике в зависимости от давления наддува и частоты вращения с реализацией заданного ускорения в переходных режимах (в системах регулирования мощности);
- формирования угла опережения впрыска топлива в зависимости от частоты вращения двигателя, нагрузки на дизель, давления наддува, температуры окружающей среды;
- ограничения топливоподачи в зависимости от давления наддува и частоты вращения двигателя;
- программной защиты дизеля от превышения максимально допустимого давления масла;
- автоматического корректирования топливоподачи в каждом цилиндре, в зависимости от их загрузки по сигналу от датчиков и от сопряженных систем;
- отключения по заданному закону или по внешней команде одного цилиндра (группы цилиндров);
- обеспечения реверсивности двигателей;
- индикации на цифровом дисплее по запросу оператора диагностической информации о частоте вращения двигателя, частоте вращения турбокомпрессора, температуре, давлении масла, давлении наддува, наработке (числе моточасов), а также сообщений о возникших неисправностях в работе системы.

### 2.3 Датчики системы Common Rail.

Для определения режима работы двигателя, температуры охлаждающей жидкости и топлива, количества воздуха, поступающего в цилиндр т.д. используются различные датчики.

Для определения значения давления топлива в топливной рампе устанавливается аналоговый датчик (рисунок 8). Он передаёт сигнал в контроллер, который используется для регулировки количества топлива и времени впрыска.

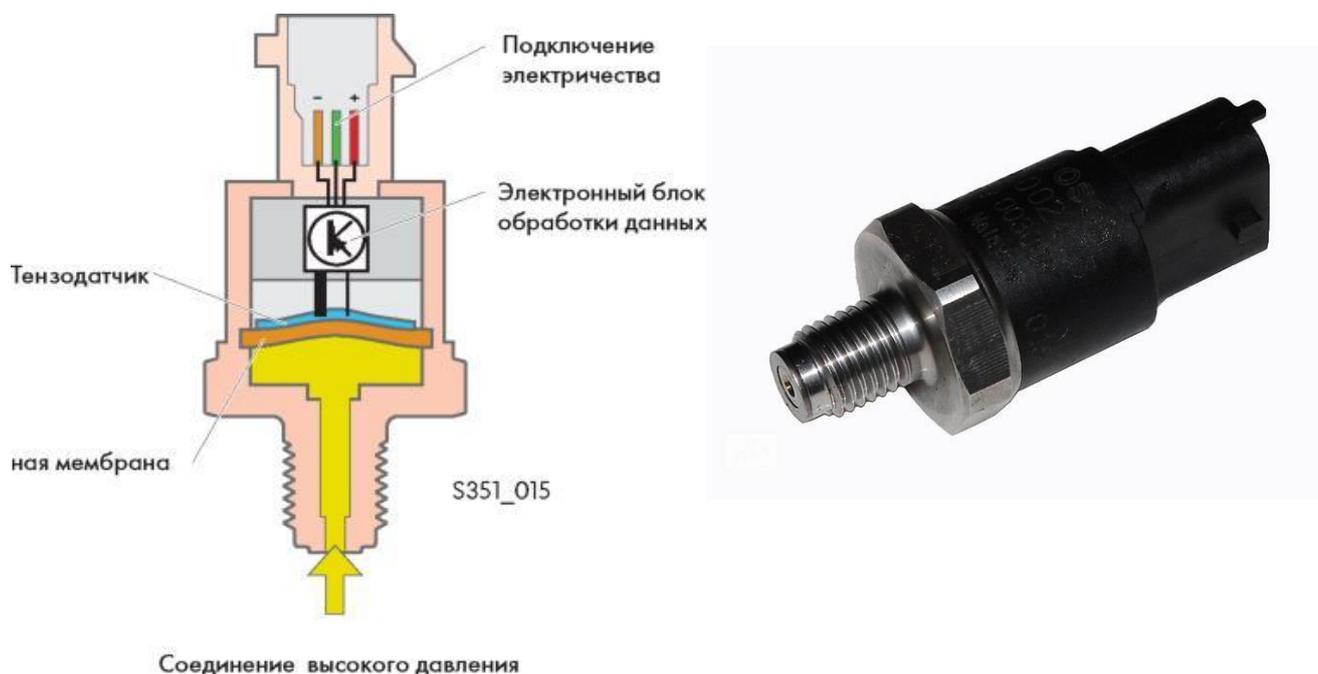


Рисунок 8 – Датчик давления в рейке

Принцип работы датчика основан на изменении сопротивления тензорезистора в зависимости от изгиба металлической мембраны, которая меняет своё положение исходя из давления топлива. Внутри датчика находится электронный блок, который преобразует сопротивление

тензорезистора в аналоговый сигнал. Зависимость выходного сигнала датчика от давления топлива представлена на рисунке номер 9.

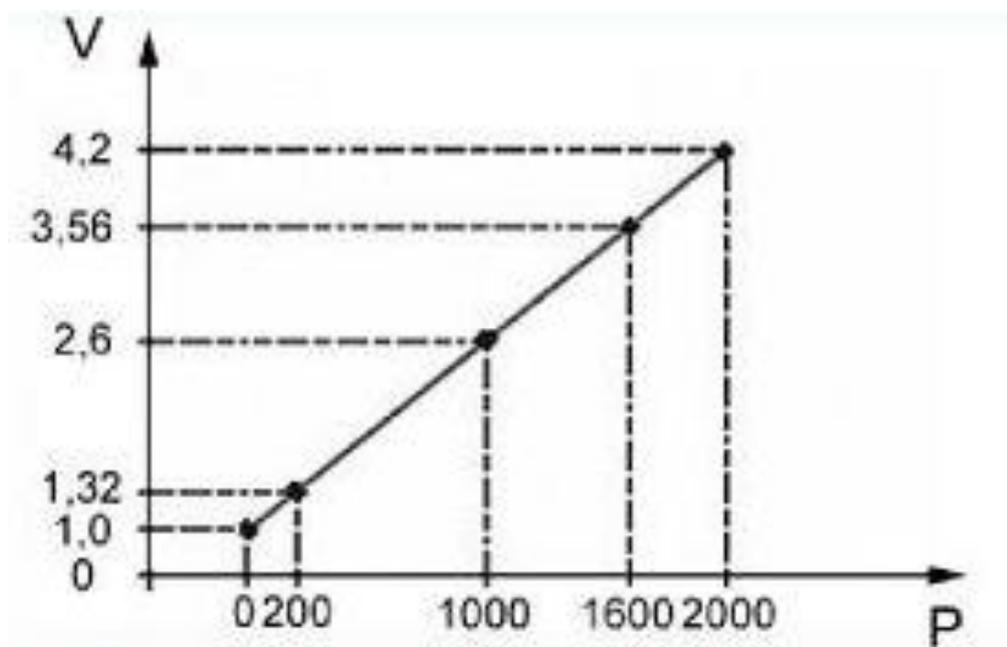


Рисунок 9 - Зависимость выходного сигнала датчика от давления

Если датчик давления неисправен - контроллер фиксирует его значение на уровне 450 бар и обороты двигателя не могут быть выше 2500 об/мин.

Для снижения токсичности отработавших газов необходимо обеспечивать требуемый состав рабочей смеси в камере сгорания. Это особенно важно при работе двигателя на переходных режимах. Поэтому необходим датчик, который может точно измерять действительный массовый расход воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя. Точность его показаний не должна зависеть от пульсаций и изменений температуры воздуха на впуске. Эти условия выполняются датчиком массового расхода воздуха с плёночным термоанемометром (рисунок 10).

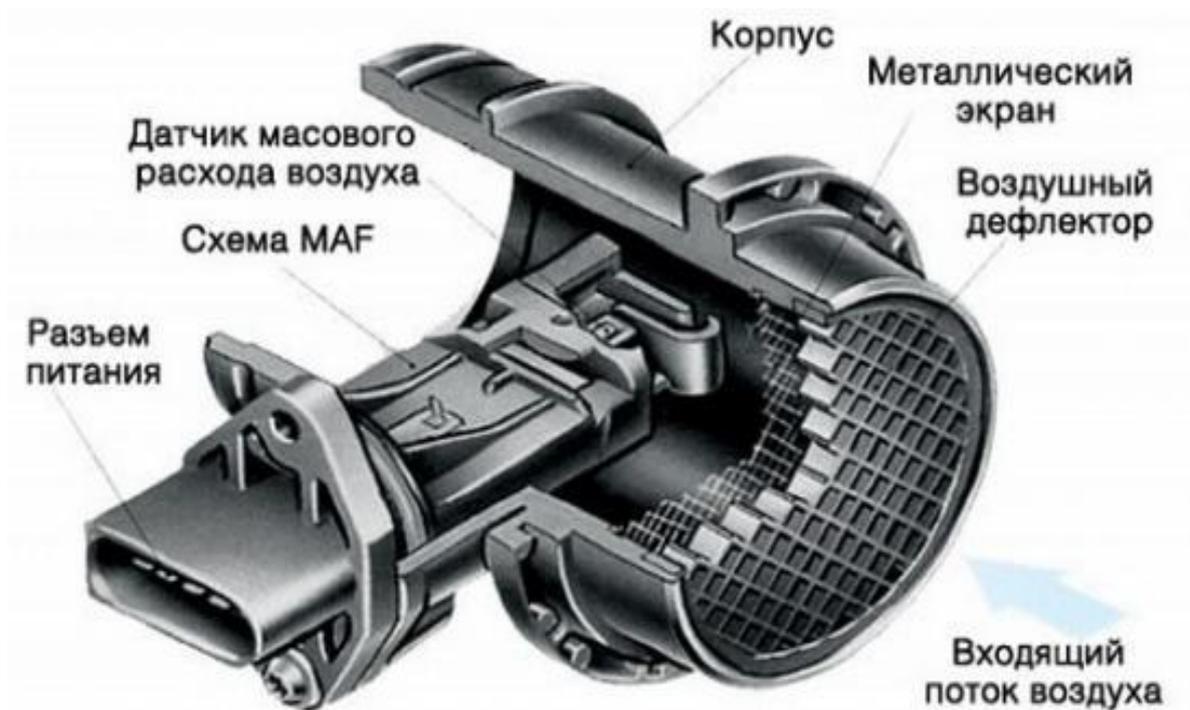


Рисунок 10 - Датчик массового расхода воздуха

Он устанавливается в воздушном фильтре и ли во впускном коллекторе. (в измерительном патрубке) Принцип действия датчика заключается в следующем. В потоке поступающего воздуха находится электрически нагреваемое тело, которое охлаждается воздушным потоком. Схема регулирования тока, которым нагревается резистор, рассчитана таким образом, что всегда имеется положительная разность температуры тела относительно проходящего воздуха (рисунок 11).

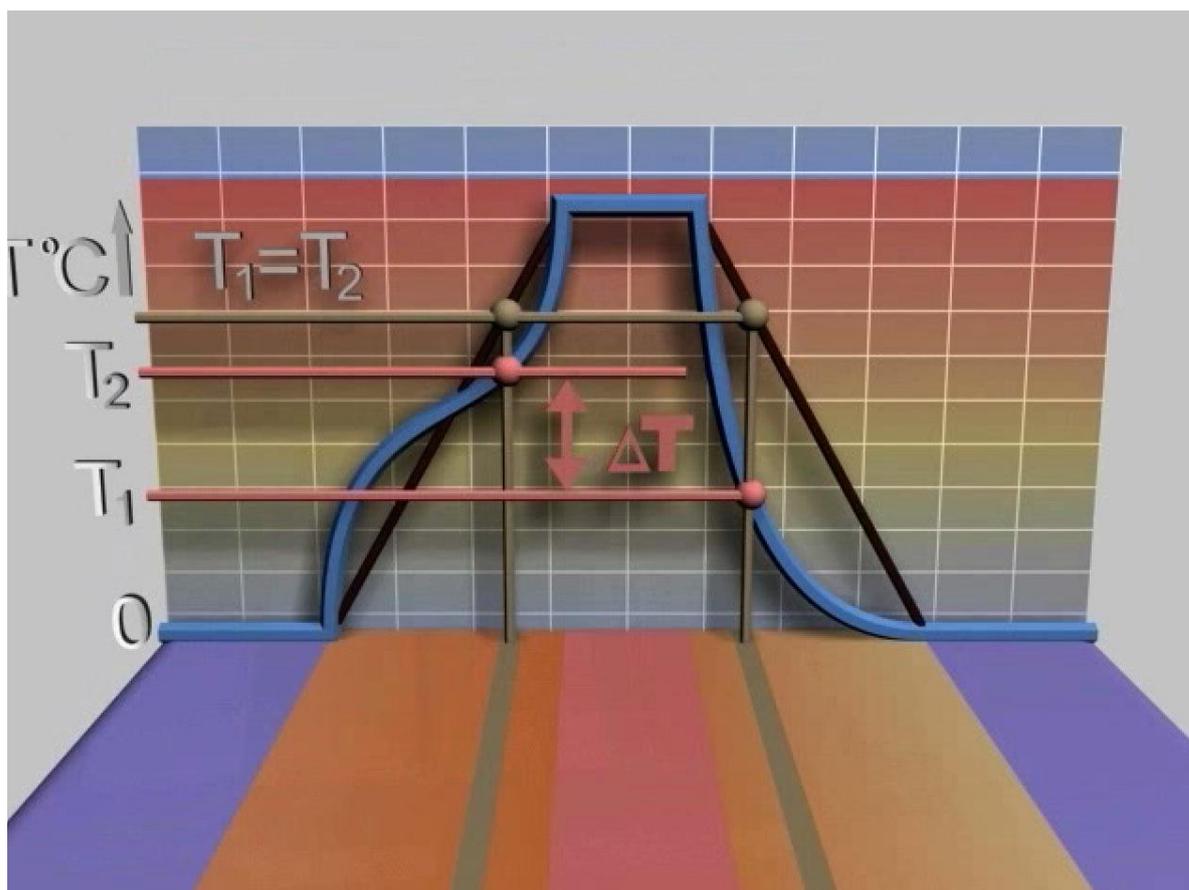


Рисунок 11 – Зависимость температуры на резисторах ДМРВ от потока воздуха

В данном случае ток нагрева является мерой для массы воздушного потока. При прямом потоке воздуха изменение напряжение составляет от 1 до 5 В, при обратном потоке воздуха от 0 до 1 (0.1) (рисунок 12).



Рисунок 12 – Зависимость напряжения на выходе ДМРВ от количества проходящего воздуха

При данном методе измерения производится учёт плотности воздуха, так как она также определяет величину теплоотдачи от тела к воздуху.

При появлении неисправности датчика потока воздуха обороты двигателя не могут быть выше  $2000 \text{ об/мин}^{-1}$ . В этом случае необходимо проверить состояние датчика и проводки.



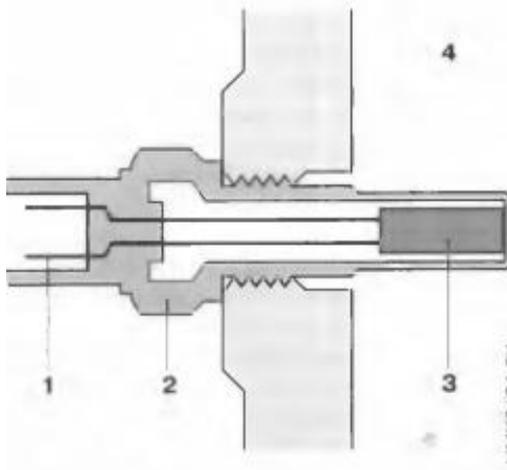
Рисунок 13 - Датчик положения дроссельной заслонки

Датчик положения дроссельной заслонки (Рисунок 13) EPC определяют намерение водителя, ускориться или замедлиться. Он включает в себя датчики: APS 1 и APS 2. APS 1 – это основной датчик который посылает сигнал о желании водителя в ECM, а APS 2 проверят возможные неисправности датчика APS 1. При неисправности датчика APS обороты двигателя фиксируются на 1250 об/мин.



Рисунок 14 - Датчик температуры топлива

Датчик температуры топлива (рисунок 14), определяет температуру топлива, используя резистор обратного типа. Он находится на подающей линии, его сигнал используется для корректировки количества подаваемого топлива в зависимости от его температуры.



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

Рисунок 15 - Датчик температуры охлаждающей жидкости

Датчик температуры охлаждающей жидкости (рисунок 15), предназначен для корректировки количества подаваемого топлива в зависимости от его температуры двигателя. Этот сигнал так же используется для управления работой вентилятора охлаждения. Если датчик температуры не исправен, вентилятор охлаждения работает постоянно на малой скорости. Характеристика датчика, представленная на рисунке 16

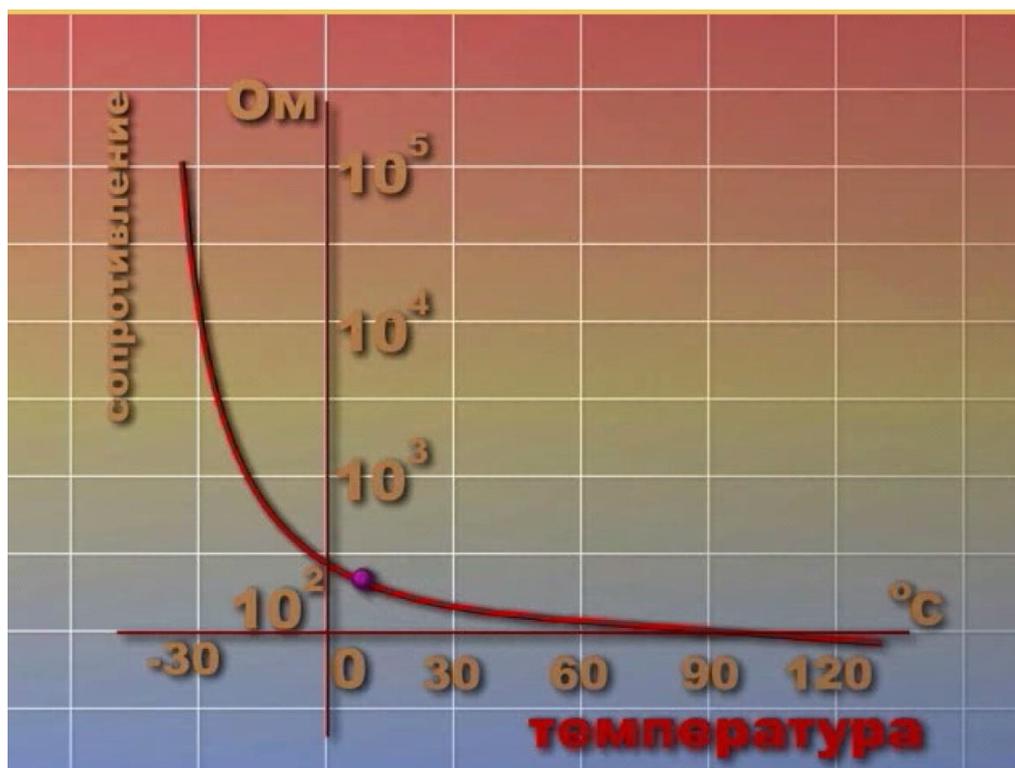


Рисунок 16 –Зависимость сопротивления термистора от температуры охлаждающей жидкости

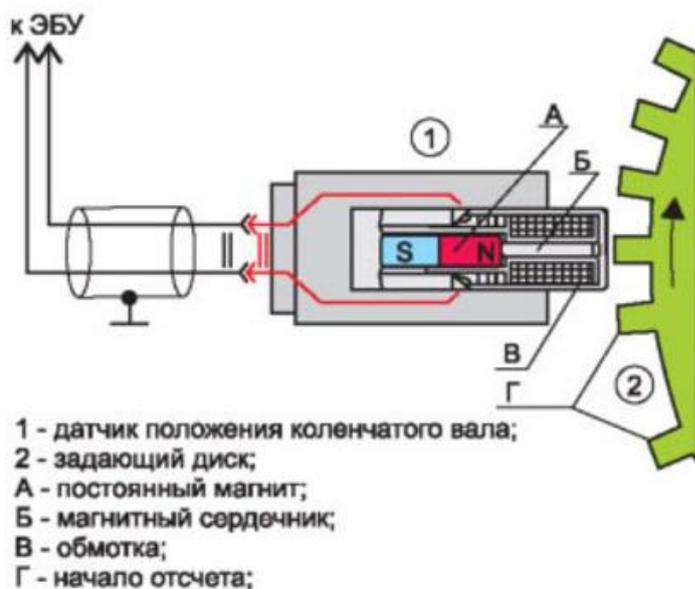


Рисунок 17 – Датчик положения коленчатого вала

Момент подачи топлива в цилиндр характеризуется углом опережения впрыска, который определяется при помощи индуктивного датчика совместно со шкивом коленчатого вала (рисунок 17). На шкиве находятся зубья с расчётным числом – 60 при этом 2 зуба отсутствуют. При вращении шкива коленчатого вала в обмотке датчика возникает электродвижущая сила переменного напряжения. Его амплитуда изменяется в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. Такой сигнал нельзя подавать на процессор, так как он является аналоговым. Поэтому аналоговый сигнал преобразуется формирователем сигналов из синусоидального напряжения в импульсы прямоугольной формы (рисунок 18).

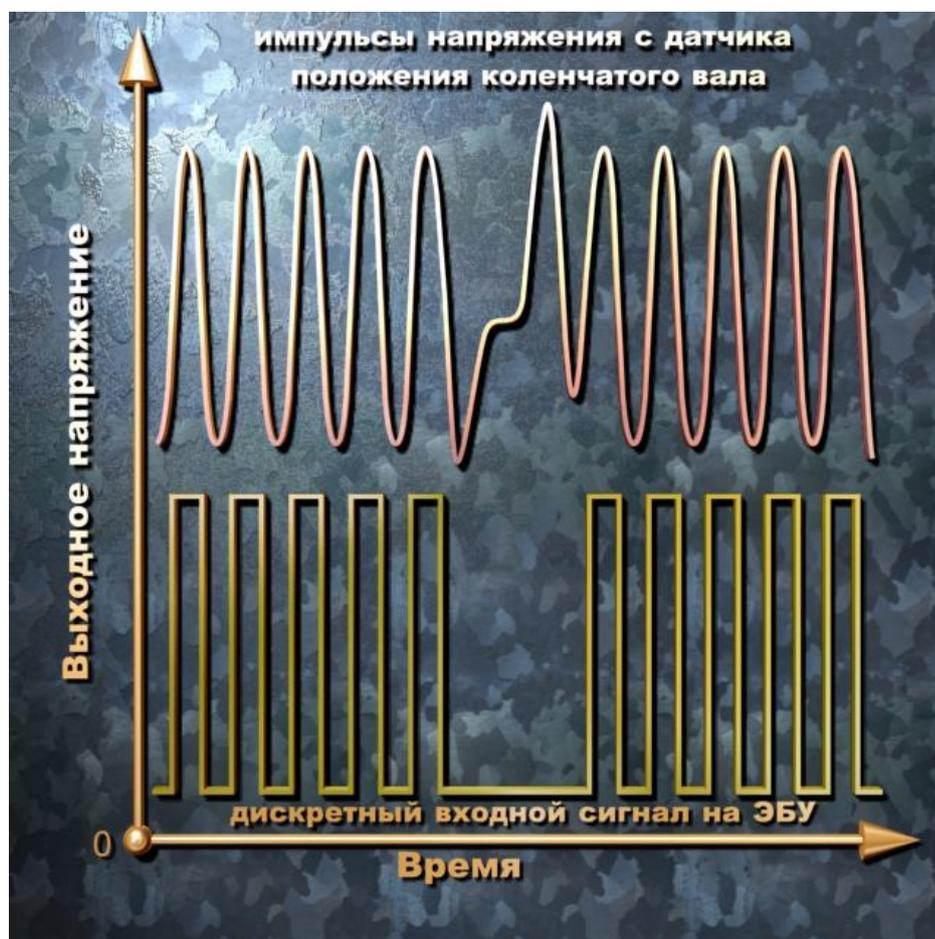


Рисунок 18– Характеристика датчика положения коленчатого вала

Скачок напряжения от 0 до 5 вольт называется фронтом, который можно представить как срез зуба. Угол поворота коленчатого вала между

фронтами соответствует трём градусам. Процессор определяет положение поршня по фронтам следующим образом. При появлении “провала” между фронтами процессор переходит в ожидание первого скачка напряжения, что означает, что поршни первого и четвертого цилиндров не дошли до верхней мертвой точки (ВМТ)  $120^{\circ}$  поворота коленчатого вала. Т.е. сороковой фронт, поступивший на прерывание процесса свидетельствует о том, что поршни пришли в верхнюю мертвую точку. Тем самым, контроллер “точно знает” положение всех поршней в конкретный момент времени и правильно рассчитывает угол опережения впрыска в зависимости от режима работы двигателя.

## 2.4 Исполнительные механизмы системы Common Rail.

Для своевременной подачи топлива в цилиндры двигателя, поддержания требуемого давления, управления процессами подачи топлива необходимы исполнительные механизмы:

- топливо подкачивающий насос
- топливный насос высокого давления
- форсунки
- клапан управления давлением

### 2.4.1 Устройство и принцип работы топливopодкачивающего насоса

Для подачи давления в топливную магистраль используется топливо подкачивающий насос. В современных автомобилях используется два варианта топливopодкачивающих насосов: электрический роторный (роликовый) насос и шестеренчатый насос с механическим приводом.

Электрический топливopодкачивающий 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 топливopодкачивающий насос работает с

постоянной частотой вращения, независимо от частоты вращения коленчатого вала 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 опорах также крепится фильтр-топливоприемник, индикатор уровня топлива и тангенциальная полость, служащая как резервуар топлива.

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 все дорожных автомобилях с топливной системой Common Rail используются топливоподкачивающие насосы шестеренчатого типа (рисунок 19).

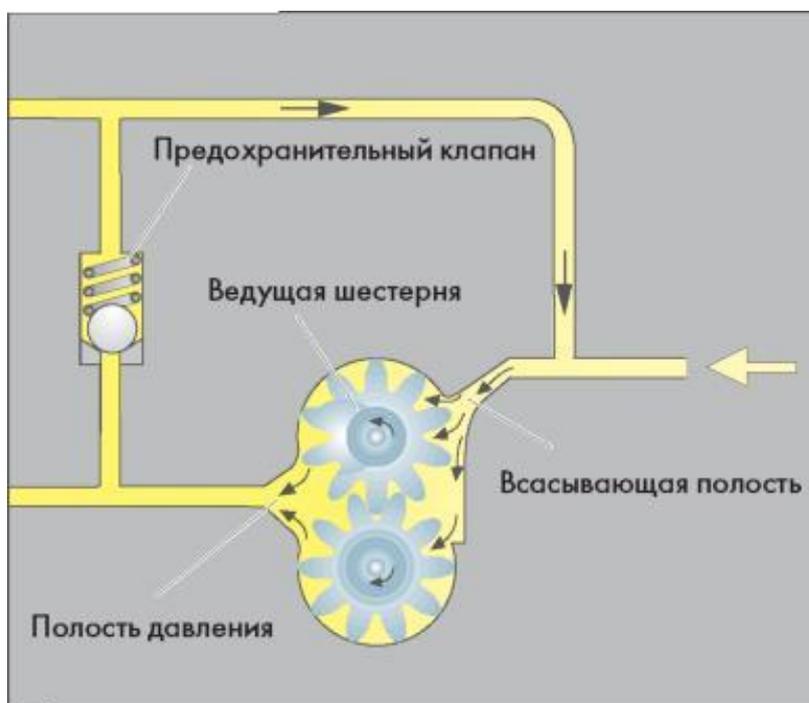
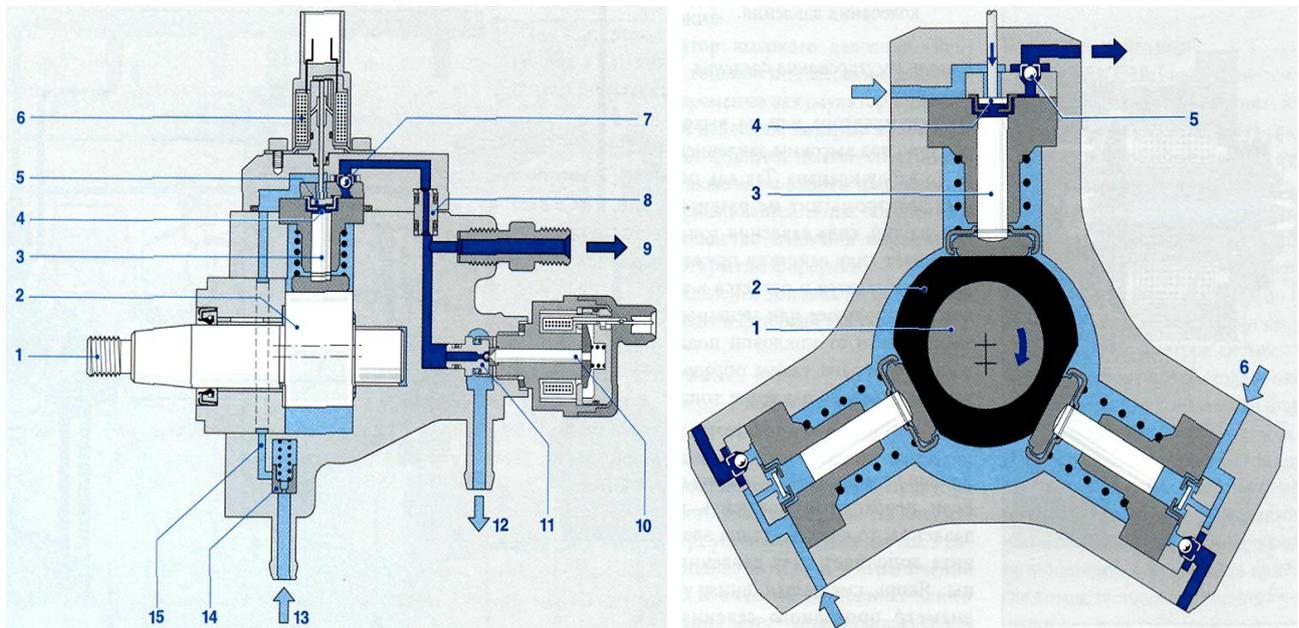


Рисунок 19 - Топливоподкачивающий насос шестеренчатого типа

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, которые находятся в зацеплении между собой, посредством чего топливо "захватывается" в камеру, образующуюся между зубьями шестерен и стенкой корпуса насоса, и направляется к выходу на стороне нагнетания. Контактные поверхности между 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.

#### 2.4.2 Устройство и принцип работы топливного насоса высокого давления.

В современных дизельных двигателях с электронной системой управления применяются топливные насосы высокого давления поршневого типа (рисунок 20).



1 – вал привода; 2 – эксцентриковый кулачок; 3 – плунжер с гильзой; 4 – камера над плунжером; 5 – впускной клапан; 6 – электромагнитный клапан отключения плунжерной секции; 7 – выпускной клапан; 8 – уплотнение; 9 – штуцер магистрали, ведущей к аккумулятору высокого давления; 10 – клапан регулирования давления; 11 – шариковый клапан; 12 – магистраль обратного слива топлива; 13 – магистраль подачи топлива к ТНВД; 14 – защитный клапан с дроссельным отверстием; 15 – перепускной канал низкого давления.

Рисунок 20- ТНВД (продольный и поперечный разрез)

Создание высокого давления в насосной секции производится в следующей последовательности. При движении плунжера вниз под действием пружины впускной клапан 5 (рисунок 20) открывается, и топливо поступает в над плунжерное пространство. Эксцентриковый кулачок на валу насоса, вместе с многоугольной шайбой находится в таком положении, которое позволяет осуществить такт впуска (рисунок 21)

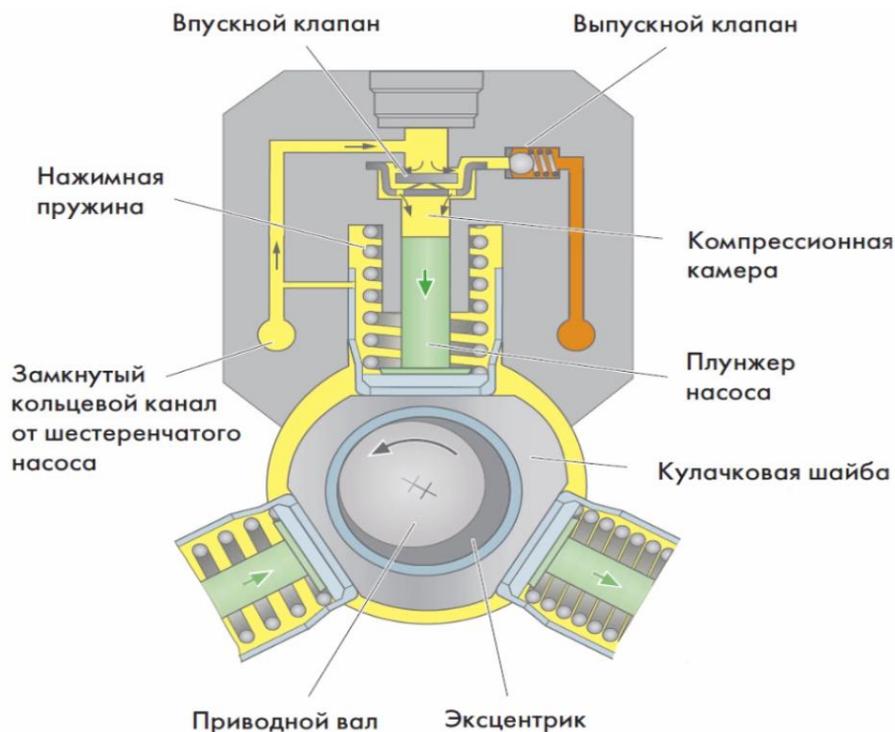


Рисунок 21

После того как плунжер достигает нижнюю мертвую точку, начинается такт сжатия. Впускной клапан, под воздействием давления, создаваемого в над плунжерном пространстве, закрывается. Как только там создается давление, равное давлению в топливной рейке, открывается выпускной клапан 7 (рисунок 21) и сжатое топливо поступает в рейку. Такт сжатия завершён, но это еще не все.

#### 2.4.3 Устройство и принцип работы регулятора потока топлива.

Исполнительный механизм, который отвечает за давление в рейке, называется регулятором давления топлива (РДТ). Он выполняет те же функции, что и регулятор потока. Сливают топливо в обратную магистраль по мере необходимости. Чем больше сольёт, тем меньше давление в рейке.

Можно выделить две ступени регулирования подачи топлива к топливной рейке. Первая ступень -регулятор потока, установленный на ТНВД, вторая ступень - регулятор давления топлива, установленный на рейке.

Регулятор потока выполняет функцию задвижки, между шестерёнчатым насосом и насосной секцией (рисунок 22).

Чем шире открывается задвижка, тем больше топлива попадает в секцию. При увеличении объёма топлива, сжимаемого в секции, повышается давление в рейке. В процессе работы двигателю не требуется весь объём топлива производимого ТНВД.

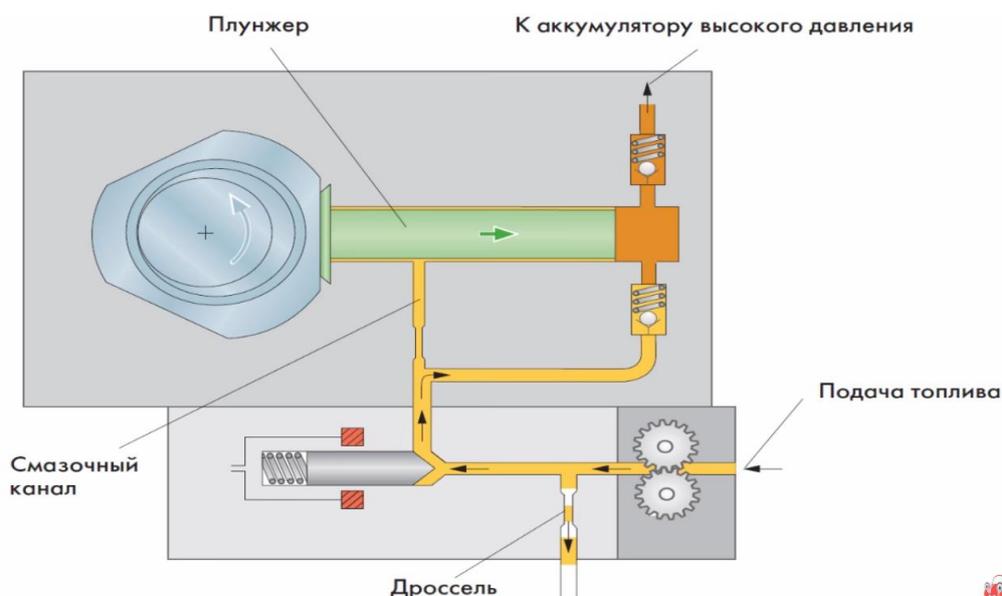


Рисунок 22

ЭБУ решает задачу по регулированию количества топлива, поступающего в насосную секцию, очень просто. Допустим, что необходимо максимально снизить давление в рейке. В этом случае блок, отправляет на соленоид (рисунок 23) регулятора потока импульсные сигналы необходимой ширины. Подача к секции прикрывается, и топливо направляется в обратную

магистраль, т.е. в топливный бак. При этом количество топлива в насосной секции уменьшается, и давление в рейке падает.



Рисунок 23 – Электромагнитный клапан

При работе двигателя на режиме холостого хода, регулятор никогда не открывается и не закрывается полностью. Коэффициент заполнения сигнала составляет 32%. С некоторой долей условности – это означает, что блок управления двигателем приоткрывает регулятор потока на 32% ...34%.

Итак, давление топливным насосом создано, давление топлива в рейке измерено. Значит, созданы предпосылки для успешного впрыска топлива форсунками.

#### 2.4.4 Устройство и принцип работы регулятора давления топлива

Регулятор давления топлива, установленный на рампе включает в себя: электромагнитную катушку, которая преобразовывает напряжение в магнитное поле; якорь клапана, который перемещается под действием магнитного поля; пружина клапана предназначена для прижатия иглы с шариком к седлу; игла с шариком предназначены для исключения подачи топлива в обратную магистраль (рисунок 24).

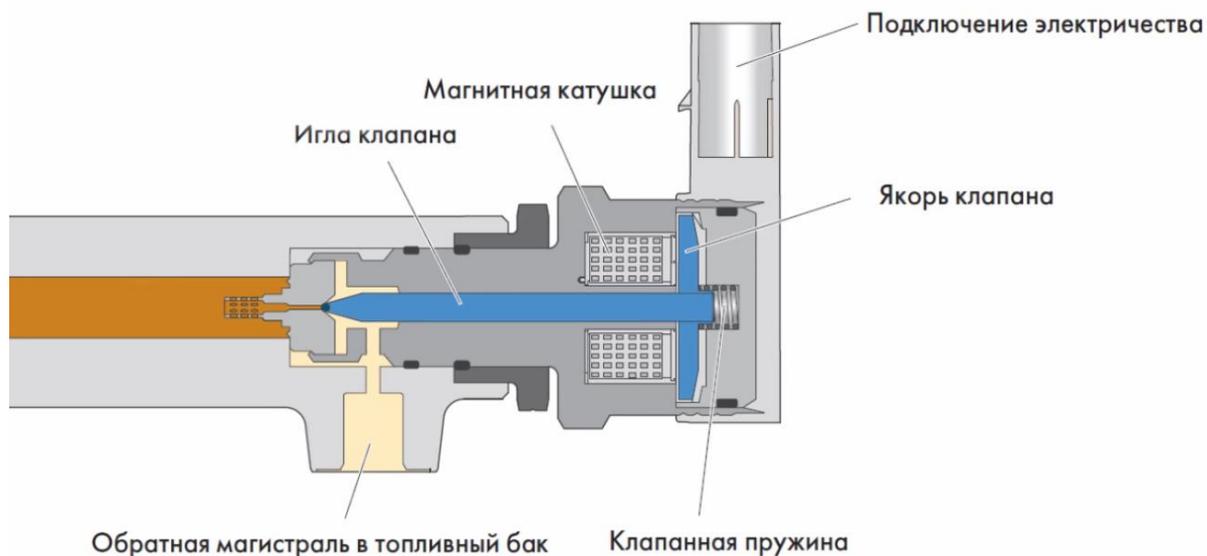


Рисунок 24 - Регулятор давления топлива

При отсутствии напряжения на катушке, пружина клапана прижимает тарельчатый якорь и перекрывает поток топлива из рейки в обратную магистраль.

Если снять фишку с регулятора и попытаться завести двигатель – ТНВД начнёт подавать топливо в рейку. Давление в рейке повысится, и поток топлива преодолеет усилие пружины, которая через якорь и иглу клапана прижимает клапан. Выпускной канал откроется, и топливо из ТНВД пойдёт в обратную магистраль. При этом давление в рейке будет не высоким. Пружина подобрана таким образом, чтобы при обесточенном регуляторе давление в рейке устанавливалось на уровне 10 МПа.

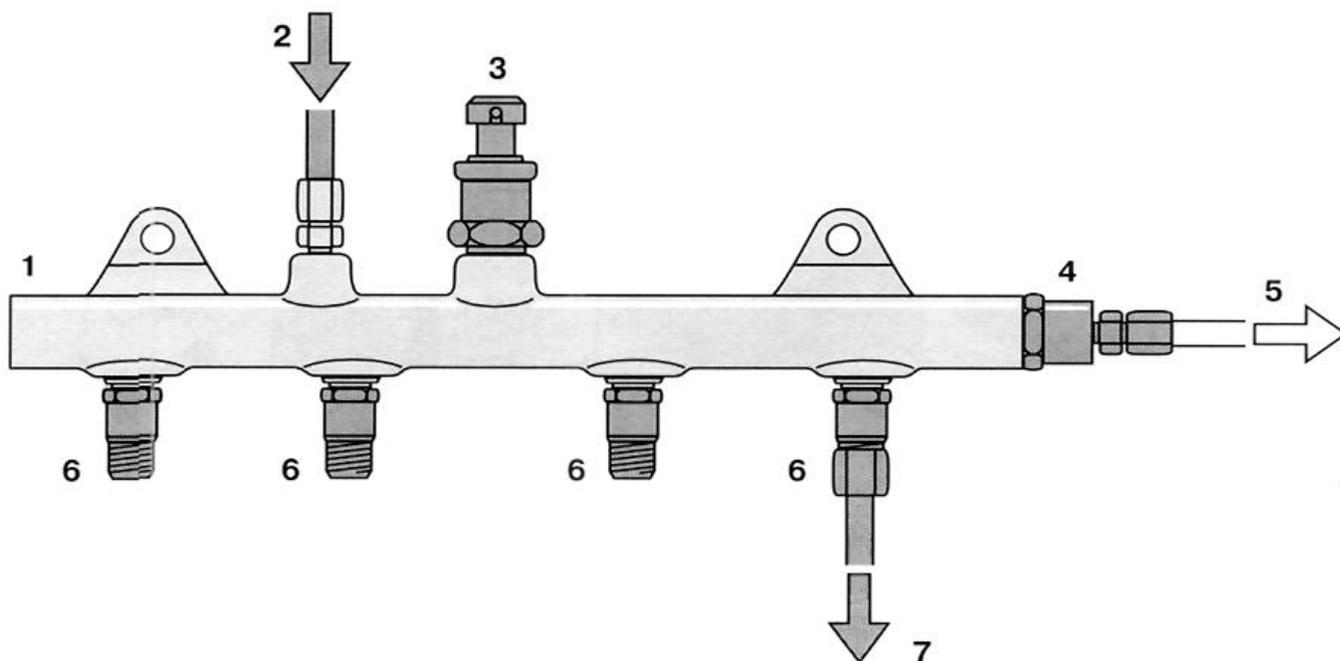
Такой принцип уберегает топливо аппаратуру автомобиля от повреждений, в случае не штатной ситуации, когда, произойдёт резкий скачок давления в рейке, например, если произойдёт обрыв провода РДТ.

При нормальной работе топливной аппаратуры давление в рейке должно быть 20 МПа на режиме холостого хода. Так как пружина рассчитана только

на 10 МПа, значит необходимо помочь ей преодолеть сопротивление потока топлива и прикрыть выходное отверстие для увеличения давления. Поэтому сразу после старта, блок падёт напряжение в форме широтных импульсных сигналов на обмотку электромагнитного клапана. Ток, протекающий через обмотку, создаёт магнитное поле, воздействующие на якорь и иглу клапана, таким образом, чтобы игла подтолкнула клапан для его гарантированного закрытия. Чем больше шарик закроет канал, тем меньше топлива уйдёт в обратную магистраль. Естественно давление в рейке вырастит. Таким образом, ЭБУ регулирует давление, основываясь на показаниях датчика давления и прочих параметрах. Один из ключевых моментов в работе РДТ - длительность импульсов поступающих на электромагнит. Напряжение на электромагнитный клапан подаётся в форме импульсов лимитированных по времени. В итоге, чем шире импульс, тем больше сила тока протекающего в обмотке электромагнита. Чем больше сила тока, тем интенсивней магнитное поле воздействует на сердечник, который в свою очередь подталкивает шарик в направлении закрытия выходного канала. Ширина импульсов напрямую связана с понятием коэффициент заполнения. Коэффициент заполнения – это время, которое занимает импульс по отношению к периоду сигнала. Если период сигнала взять за 100%, то длительность импульса может составлять 20%, 40%, 50% и т.д.

#### 2.4.5 Устройство и принцип работы топливной рампы

В дизельных двигателях Common Rail топливо хранится в топливной рампе при высоком давлении и впрыскивается в цилиндр после оптимизации времени давления и количества впрыска блоком управления двигателем (рисунок 25)



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.

Рисунок 25 - Аккумулятор высокого давления

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.

Ограничитель подачи 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

#### 2.4.6 Устройство и принцип работы форсунок

Форсунка (рисунок 26) – это электромагнитный клапан, который подаёт топливо в цилиндр двигателя, в случае если на катушке 2 есть напряжение. Она включает в себя: штуцер обратной магистрали 1 по которой излишки топлива сбрасываются в бак; соленоид 2 предназначен для подъёма якоря форсунки при подаче на неё напряжения 12В (24В). Возвратная пружина 3 предназначена для возврата якоря 4 в закрытое положение. Шариковый клапан 5 перекрывает подачу топлива из камеры управляющего клапана 6 в обратную магистраль при отсутствии напряжения на обмотке электромагнита 2. Пружина 7 управляющего клапана 15 прижимает его к распылителю 10, тем самым перекрывая подачу топлива.

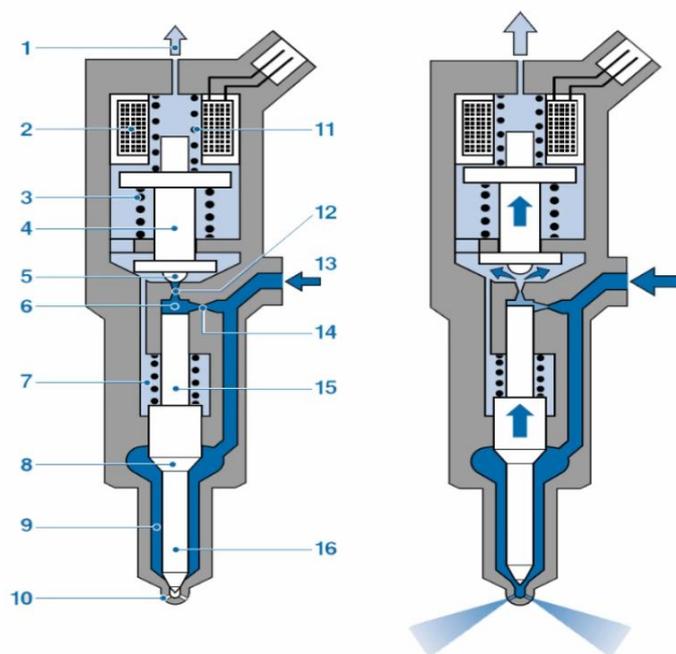


Рисунок 26– Форсунка

Форсунка работает следующим образом: топливо подается через входной штуцер высокого давления 13 и заполняет камеры распылителя 9, и управляющего клапана 6. При закрытом шариковом клапане 5, силы гидравлического давления, приложенные, к управляющему плунжеру 15 превосходят силы давления, приложенные к форсунке. В результате она садится на седло и закрывает проход топлива под высоким давлением в камеру сгорания. При подаче пускового сигнала на электромагнитный клапан жиклер 12 открывается и давление в камере гидроуправления падает. В результате сила гидравлического давления на управляющий плунжер уменьшается. Поскольку сила давления на управляющий плунжер оказывается меньше силы, действующей на иглу форсунки 16, последняя открывается, и топливо через сопловые отверстия 10 впрыскивается в камеру сгорания.

Использование принципа мультипликатора, для управления иглой форсунки, обеспечивает очень быстрый подъем её 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. Для ознакомления с конструкцией, в первую очередь обратим внимание на форсунку в состоянии относительного покоя, когда она не впрыскивает топливо.

Форсунка по средствам топливной магистрали высокого давления сообщается с рейкой. Топливо внутри форсунки распределяется следующим образом: Через входное отверстие в камеру управляющего клапана, а затем

перетекает в камеру распылителя. Назовём её так – давление в камере управляющего клапана толкает управляющий клапан вниз, соответственно игла распылителя перекрывает отверстие в распылителе. Кроме давления поджать иглу распылителя помогает пружина 7 (на рисунке она под номером 7). В закрытом положении, форсунку удерживает давление топлива в камере управляющего клапана и пружина распылителя. Чтобы давление в камере управляющего клапана оставалось постоянным и топливо преждевременно не уходило в обратную магистраль, выходное отверстие камеры закрывается шариковым клапаном. Электромагнит обесточен. Якорь находится в нижнем положении благодаря усилию пружины 11.

Для впрыска топлива с электронного блока управления приходит сигнал на электромагнит. Электромагнитное поле втягивает якорь. Выходное отверстие камеры управляющего клапана открывается, и топливо устремляется в обратную магистраль. Давление в камере падает. Высокое давление в камере распылителя толкает конус иглы вверх, преодолевая сопротивление пружины. Через отверстие распылителя топливо впрыскивается в камеру сгорания.

Зная давление, в топливной рейке, потребности водителя по положению педали газа, взвешивая количество поступающего воздуха, его температуру, температуру охлаждающей жидкости и принимая во внимание ещё как минимум десяток параметров, ЭБУ удерживает якорь электромагнитов в таком положении столько сколько нужно. По сути, цикловая подача топлива зависит от времени, на которое открыто выходное отверстие камеры регулирующего клапана. Общая продолжительность впрыска составляет от 1 до 2 миллисекунд. За это время форсунка успевает сделать два пилотных предвпрыска и один основной впрыск (рисунок 27) .

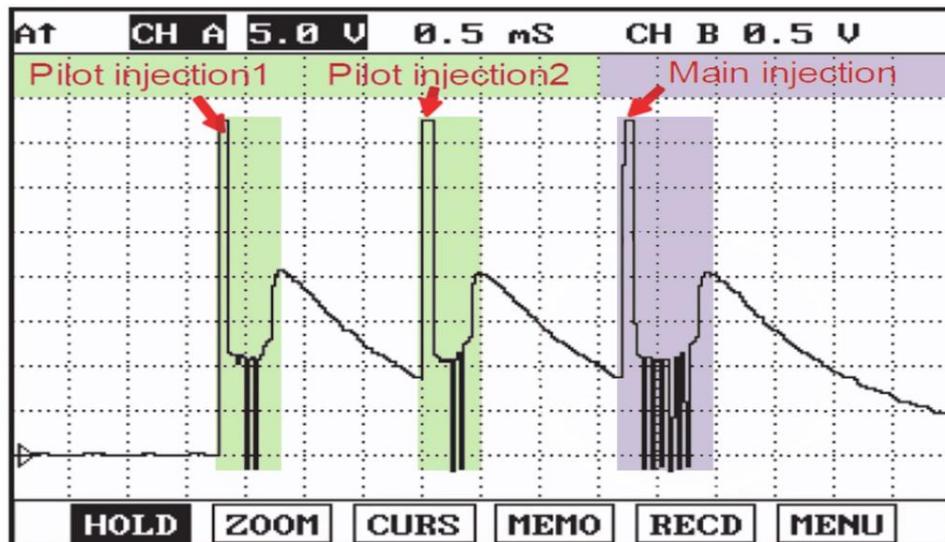
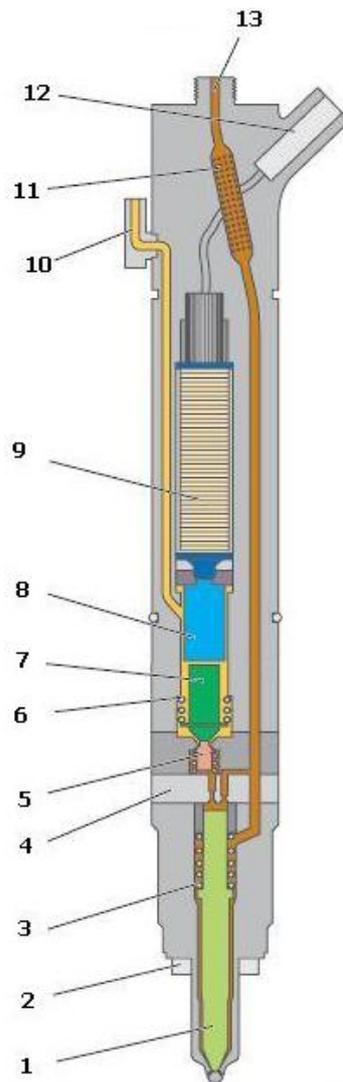


Рисунок 27 – Зависимость напряжения на обмотке катушки форсунки от времени

Проще говоря, три раза ЭБУ подает последовательность импульсов на электромагнитный клапан. Три раза игла распылителя ходит туда обратно. Пред впрыск по времени может занимать от 200 до 600 микросекунд. Основной впрыск от 600 до 800 микросекунд. Поскольку ЭБУ осведомлен о параметрах каждой форсунки, для него не составляет труда рассчитать цикловую подачу и отправить три пачки импульсов на электромагнит, ориентируясь на давление в рейке и прочие параметры.

На современных автомобилях применяются пьезоэлектрические форсунки, принцип работы, которых аналогичен электромагнитной форсунки, однако привод иглы осуществляется за счёт изменения размеров пьезоэлектрического элемента 9 (рисунок 28).

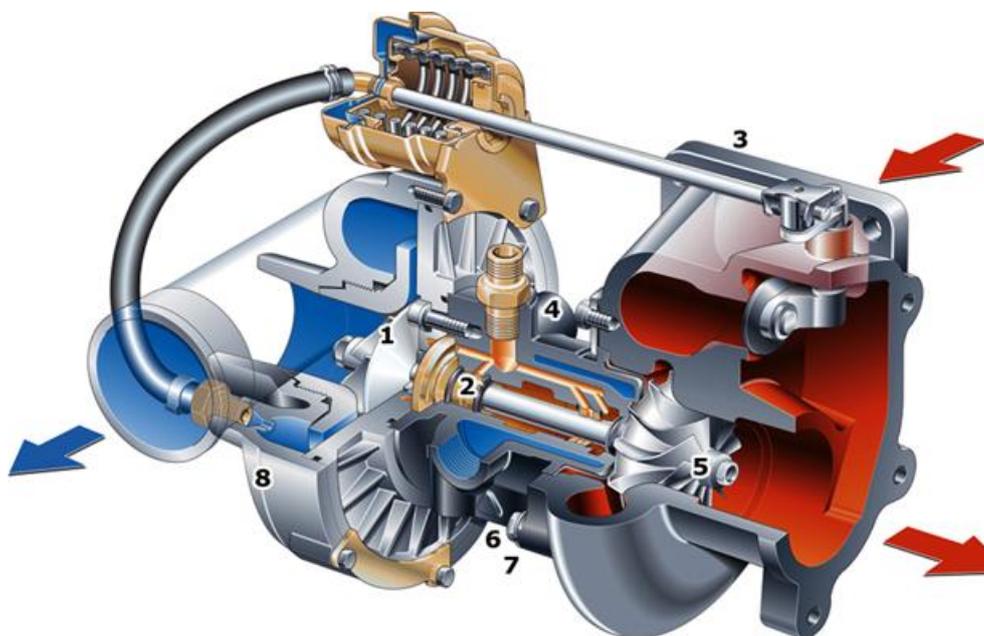


игла форсунки – 1; уплотнение – 2; пружина иглы – 3; блок дросселей – 4; переключающий клапан – 5; пружина клапана – 6; поршень клапана – 7; поршень толкателя – 8; пьезоэлемент – 9; сливной канал – 10; сетчатый фильтр – 11; электрический разъём – 12; нагнетательный канал – 13.

Рисунок 28

### 2.4.7 Устройство и принцип работы турбокомпрессора

Турбина – это горячий воздушный насос, который подаёт воздух в цилиндр двигателя под избыточным давлением (рисунок 29).



1 –компрессорное колес; 2–подшипник; 3– актуатор; 4 – штуцер подачи масла; 5 – турбинное колесо; 6 – картридж; 7 – горячая улитка; 8 –холодная улитка.

Рисунок 29– Турбокомпрессор

Чем больше коэффициент наполнения цилиндра воздухом, тем более эффективно работает двигатель, уменьшая расход топлива и выбросы токсичных компонентов.

Компрессор монтируется на воздушной системе, между впускным и выпускным коллекторами. Как только отработавшие газы выходят из цилиндров двигателя, они начинают вращать турбинное колесо, которое через вал передаёт крутящий момент на компрессор. Масло, проходящее, через

турбину производит смазывание. На практике турбина очень эффективный комплекс собранный инженерами с точностью до долей миллиметров. Турбина и компрессор соединены кожухом поддерживаемый системой подшипников. Турбина работает от отработанных газов. Газ входит в отсек турбин, заводит её и покидает через выходное отверстие. Температура вырабатываемых газов может достигать  $950^{\circ}\text{C}$ , что означает использование высоко - температурных сплавов для изготовления деталей. Скорость и нагрузка на двигатель определяет, как быстро будет работать турбина, когда двигатель работает в холостую турбина работает на минимальных оборотах. Чем больше газов попадет в турбину, тем быстрее она крутится. На максимальных оборотах скорость вращения турбины достигает 240.000 об/мин (rpm) (рисунок 32).

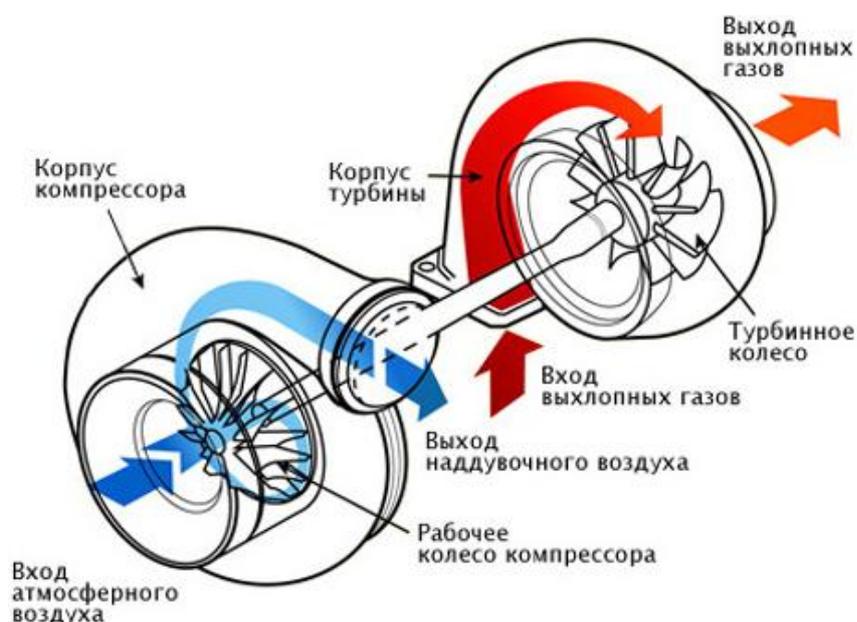


Рисунок 32

Компрессорное колесо соединено с турбиной закаленным стальным валом и работает за счёт вращения турбины. Воздух заходит в компрессионную камеру, за счёт компрессионного колеса и сжимается за счёт высокой скорости вращения. Турбокомпрессор преобразует высоко —

скоростной воздушный поток низкого давления и скоростной поток высокого давления. Воздух поступает в компрессор с невысокой температурой и покидает его с температурой 200<sup>0</sup>С. С увеличением температуры увеличивается плотность, что уменьшает мощность. Так что обычно воздух компрессора проходит через радиатор, который использует воздух или воду для охлаждения. Вал, соединяющий, турбину и компрессор работает в системе подшипников и смазывается маслом двигателя. Масло поступает под давлением в каналы для подшипников. Масло так же является охладителем, забирая тепло от подшипников. Главные подшипники вращаются в масле, соприкасаясь со стенками вала и кожухом. С двух сторон кожуха находится уникальный масляный изолятор, разработанный специально для высоких температур и помогающий убедиться в том, что масло не попадает в компрессор или в турбину.

Небольшая турбина будет хорошо работать при низких скоростях двигателя. На больших оборотах может случиться перегазовка двигателя. Чтобы этого избежать, некоторые турбины оборудованы газывыводящим поршнем, контролирующим давление. Когда давление достигает допустимого максимума, открывается клапан дающий возможность излишним газам выйти через выхлоп. Турбине с выхлопами радиус турбины может быть меньше, лучше реагируя на обороты двигателя и давая максимальную мощность на выходе. Турбины без или с поршнем выхлопа могут быть легко разобраны и переделаны при соблюдении стандартов изготовителя и использования новых деталей.

В обычных турбинах количество входящего воздуха определяется проектировщиками турбины, компрессора и кожуха. Обычно при проектировке исходят из компромисса между малыми и большими скоростями двигателя. Более эффективный способ повысить характеристику двигателя – это использование варьируемых турбин. В зависимости от изготовителя турбины, используется подвижные створки или подвижные

сопла, давая возможность турбине подстраиваться под режим работы. Это позволяет более эффективно использовать энергию выхлопных газов и изменять воздушный поток, чтобы достигнуть желаемой скорости в широком диапазоне работы двигателя. Эта технология даёт возможность двигателю эффективно работать в различных режимах. Улучшает экономию топлива, торможение двигателем и уменьшает объём двигателя необходимый для работы. Ранее варьируемы турбины, используют давление или вакуум, чтобы регулировать положение створок или сопел. Большинство современных моделей используют электронное оборудование и имеют собственный процессор. Сложность варьируемых турбин, подразумевает, что они не могут быть успешно переделаны с абсолютной гарантией надёжности.

Низкая мощность или шум с дымом воздействуют на турбину. Диагностика может указать, на область где находится проблема. Турбина не простая деталь, которую можно просто заменить. Это интервьюируемая система, связанная с системами воздуха, топлива, масла и охлаждения. Фильтр или охладитель, утечки, пережимы шлангов и труб, а так же использование не одобренных деталей могут вызвать проблемы в работе, привести к поломке. Так что особенно важно проверить все системы перед заменой турбины. Например, пробойна в воздушном шланге, может вызвать перегазовку. Если двигатель перегрет, то он не сможет обеспечить нужное количество энергии, так что турбина может не правильно работать или во все сломаться. Даже через мерное количество масла, может привести к переизбытку давления и повредить турбину.

Поломка турбины редкое событие. Проблема обычно так же находится где то в двигателе. В 95% поломки выглядят следующим образом:

- Нехватка масла
- Грязное масло
- Посторонние предметы

В большинстве причин проблема связана с маслом. Тем не менее, важно проверить систему смазки перед заменой турбины. Нехватка масла может быть вызвана протечкой или пережимом масляных шлангов, а так же их не правильная установка к турбине. Загрязнение масла, может быть вызвано не своевременной заменой масла или фильтра, попадание воды или топлива, а так же не правильным маслом. Так как турбина может работать на оборотах до 240,000 об/мин (rpm) при температуре до 950<sup>0</sup>С. Правильный подбор масла особенно важен. Использование турбины без масла в течение 5 секунд, так же вредно как такое же использование двигателя в течение 5 минут. Посторонние предметы, по различным причинам попадающие в турбину могут привести к декомпрессии, даже мелкий предмет может серьезно повредить турбину или компрессор. Так же ущербы приводят к неправильной эксплуатации, так что важно учитывать и эти причины. Долгий застой двигателя может вызвать вакуум, приводящий к поломке масляных уплотнителей. Быстрое начало работы в холод не даст, маслу во время пройти полный цикл вызвав тем самым нехватку масла на больших оборотах. Выключение горячего двигателя приводит к образованию углеродного осадка, который вредит подшипнику. Важно дать постоять двигателю минимум 3 минуты на холостых оборотах, прежде чем выключать его. Слишком много оборотов за безопасным порогом, могут вызвать разгон турбины до тех пределов, за которыми смазка не сможет её защитить.

2.4.8 Устройство и принцип работы системы рециркуляции отработавших газов.

Система рециркуляции отработавших газов (EGR) предназначена для снижения токсичности отработавших газов.

Главной функцией системы EGR является частичный возврат отработавших газов во впускной коллектор двигателя для дожигания (рисунок 33). EGR дизельного двигателя позволяет сделать работу моторов подобного типа более мягкой и плавной, бензиновые агрегаты с EGR меньше страдают от детонации. Система рециркуляции отработавших газов способна улучшить эксплуатационные показатели дизельного или бензинового ДВС, снизить расход топлива. Отработавшие газы при работе EGR становятся менее токсичными.

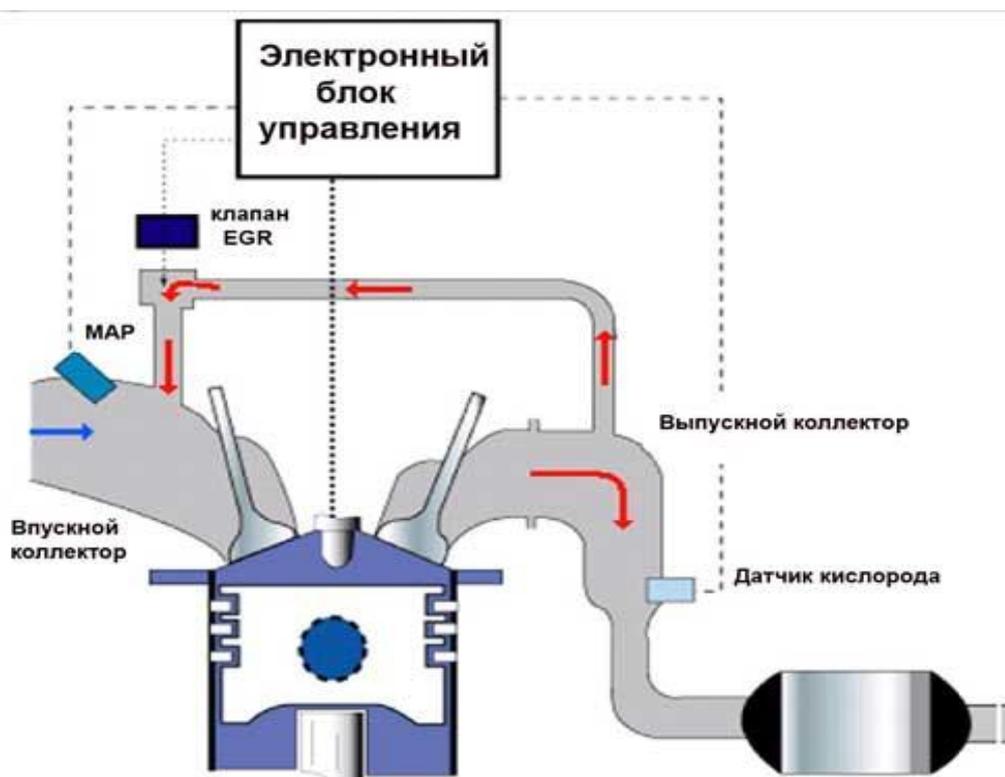


Рисунок 33 – Система EGR

Система EGR не работает в следующих условиях:

При холостых оборотах двигателя

1. При не исправности клапана управления давления
2. При не исправности клапана EGR
3. При температуре охлаждающей жидкости, ниже  $37^{\circ}\text{C}$  или выше  $100^{\circ}\text{C}$
4. Если напряжение аккумуляторной батареи ниже  $9\text{V}$  или во время запуска автомобиля



### 3 Техническое обслуживание топливной аппаратуры системы Common Rail

Включает в себя регулировочные, крепежные, смазочные работы и диагностику.

#### 3.1 Проверка дизельных форсунок. Диагностика форсунок Common Rail.

В процессе эксплуатации дизельного двигателя, происходит, засорение форсунок вследствие чего двигатель работает не равномерно, теряется его мощность и экономичность. Проверку состояния форсунок можно производить непосредственно на двигателе, подключив к трубкам обратной магистрали, каждой форсунки мерные ёмкости и измерив разницу объёмов топлива.

Для диагностики форсунок необходимо выполнить следующие действия:

- Скидываем обратную магистраль
- Одеваем на место обратной магистрали мерные колбы с патрубками
- Заводим двигатель одновременно с запуском секундомера

По регламенту, с одной форсунки в систему обратной подачи топлива за 1 минуту должно поступать не более 20мл дизельного топлива. В противном случае можно говорить о засорённости данной форсунки, которая проверятся следующим образом:

- снять шланги с системы обратной подачи топлива
- подсоединить к шлангам обратной подачи топлива , мерные колбы
- запустить двигатель и включить секундомер
- дать двигателю поработать на режиме холостого хода 1 минуту
- заглушить двигатель
- определить неравномерность подачи топлива по цилиндрам
- сделать заключение о техническом состоянии форсунок

В случае если разность по цилиндрам превышает 15% - произвести ремонт неисправной форсунки.

### 3.2 Промывка дизельной систем топливоподачи Common Rail

Видео ролик № 3 «Промывка дизельной системы топливоподачи».



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка учебного пособия проводилась на основании учебного плана студентов по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Выпускник данной специальности должен владеть знаниями об устройстве и принципе работы системы Common Rail. А так же каким образом, осуществляется техническое обслуживание и диагностика. Скомпонован теоретический материал, благодаря которому, студенты данной специальности изучили систему Common Rail, а так же устройство и принцип работы форсунок, топливного насоса высокого давления, блока управления и датчиков. Также разработаны видеоролики по трём разделам данной выпускной квалификационной работе на темы “Обзор двигателя внутреннего сгорания”, “ Система Common Rail”, “Промывка дизельной системы топливоподачи”.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Егоров, А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно -методическое пособие [Текст] / А.Г. Егоров, В. Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова, – Тольятти, 2012. - 135с.
- 2 Шеянов, В. П. Учебное пособие по дисциплине «Ремонт автомобилей» [Текст]/ Омск, 2006. – 136с.
- 3 Родичев, В.А. Устройство и техническое обслуживание легковых автомобилей: учебник водителя [Текст] / В.А. Родичев, А.А. Кива. – Гриф МО. – Москва: За рулем, 2004. – 80 с.
- 4 Van Basshuysen, R. Modern Engine Technology from A to Z [Text]/ R. Van Basshuysen. - SAE International, 2011. – P. 373.
- 5 Reif, K. Automotive and Engine Technology [Text] / K. Reif. – Springer International Publishing, 2012. – P.92
- 6 Малкин, В. С. Техническая эксплуатация автомобилей : теорет. И практ. аспекты : учеб. пособие [Текст] / В. С. Малкин. – М. : Академия, 2007. - 288 с.
- 7 Pia, G. Pistons and engine testing [Text] / G.Pia. - Springer Vieweg, 2016. – P. 295
- 8 Сарбаев, В.И. Механизация производственных процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей : учеб. пособие [Текст] / В. И. Сарбаев, С. С. Селиванов, В. Н. Коноплев. – М. : РИЦ МГИУ, 2003. – 284 с.
- 9 Zima, S. Internal Combustion Engine Handbook [Text] / S. Zima. - SAE International, 2012. – P. 582

10 Мураткин, Г. В. Основы восстановления деталей и ремонт автомобилей : учеб. пособие. Ч. 1. Технологические методы восстановления деталей и ремонта автомобилей [Текст] / Г. В. Мураткин, В. С. Малкин, В. Г. Доронкин. – ТГУ. – Тольятти : ТГУ, 2012. – 246 с.

11 Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.1 [Текст] / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. - 912 с.

12 Круглов, С.М. Устройство, техническое обслуживание и ремонт легковых автомобилей: [Текст] / С.М. Круглов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высш. шк., 1991. – 351 с

13 Кривенко, П. М. Дизельная топливная аппаратура: [Текст] / Кривенко П. М., Федосов И. М. – «Колос», 1970. 536 с. с черт.

14 Гюнтер, Г. Диагностика дизельных двигателей: [Текст] / Гюнтер Г. – М.: ЗАО "КЖИ "За Рулем", 2004. - 176 с.

15 MSI Motor Servise International [Текст]. - Kolbenschmidt : Pierburg AG, 2006. - 100 с.

16 Файнлейб, Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: [Текст] / Файнлейб Б.Н. – «Машиностроение», 1990. – 352с.

17 Грехов, Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей : [Текст] / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. - Гриф УМО. - Москва : Легион-Автодата, 2004. - 340 с. : ил. - Библиогр.: с. 333-340.

18 Впрыск дизельных двигателей: Легковые и грузовые автомобили, судовые установки, яхты, стационарные установки : практ. руководство [Текст] / [под ред. С. В. Афолина]. - Ростов-на-Дону : ПОНЧиК, 2004. - 148 с.

19 Горбаневский, В. Е. Дизельная топливная аппаратура. Оптимизация процесса впрыскивания, долговечность деталей и пар трения [Текст] / В. Е.

Горбаневский [и др.]. - Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1996. - 138 с. : ил. -  
Библиогр.: с. 131-136.

20 Афоина, С.В. Все о топливной системе дизельных двигателей  
иностраных автомобилей : руководство по техн. обслуживанию и ремонту  
[Текст] / [авт.-сост. С. Афонин]. - Батайск : ПОНЧИК, 1998. - 51 с