

Аккумуляторная система впрыска топлива

1. Общие сведения

Требования к системам впрыска дизельного топлива постоянно растут. Более высокие давления впрыскивания, повышенные скорости срабатывания форсунок и гибкое адаптирование процесса к условиям эксплуатации автомобиля делают дизель мощным, экономичным и малотоксичным. Кроме того, система впрыска все больше интегрируется в общую электронную систему управления автомобилем. Это позволило начать использование дизелей на автомобилях высшего класса

Одной из таких высокоразвитых систем впрыска является аккумуляторная система Common Rail, главным преимуществом которой является широкий диапазон изменения давления топлива и момента начала впрыскивания. Все это реализуется путем разделения процессов создания давления и обеспечения впрыскивания.

Аккумуляторная система Common Rail используется на дизелях с непосредственным впрыском топлива в следующих случаях:

- легковые автомобили: широкая гамма двигателей — от трехцилиндровых (800 см^3 , 30 кВт (41 л. с), 100 Н·м) до восьмицилиндровых (3900 см^3 , 108 кВт (245 л. с), 560 Н·м);
- легкие грузовые автомобили: двигатели мощностью до 30 кВт на цилиндр;
- тяжелые грузовые автомобили, тепловозы и суда: двигатели мощностью до 200 кВт на цилиндр.

Эта система позволяет обеспечить более широкие, в отличие от вариантов с механическим приводом ТНВД, требования по впрыску топлива, а именно:

- расширенные границы применимости;
- повышенное давление впрыскивания (до 1600 бар);
- изменяемый момент начала впрыскивания;
- обеспечение предварительного и дополнительного впрыскивания (даже очень позднего);
- регулирование давления впрыскивания (230-1600 бар) в зависимости от условий эксплуатации автомобиля.

Вместе с тем, аккумуляторная система создает важнейшие предпосылки для повышения удельной мощности, снижения расхода топлива, а также для уменьшения уровней шума и эмиссии отработавших газов.

2. Конструкция

Аккумуляторная система Common Rail включает в себя (рис. 1):

- контур низкого давления, а также агрегаты подачи топлива;
- контур высокого давления, включая ТНВД, топливный аккумулятор высокого давления, форсунки и магистрали высокого давления;
- система электронного регулирования работы дизеля, датчики управления и исполнительные механизмы;
- системы подачи воздуха и отвода ОГ.

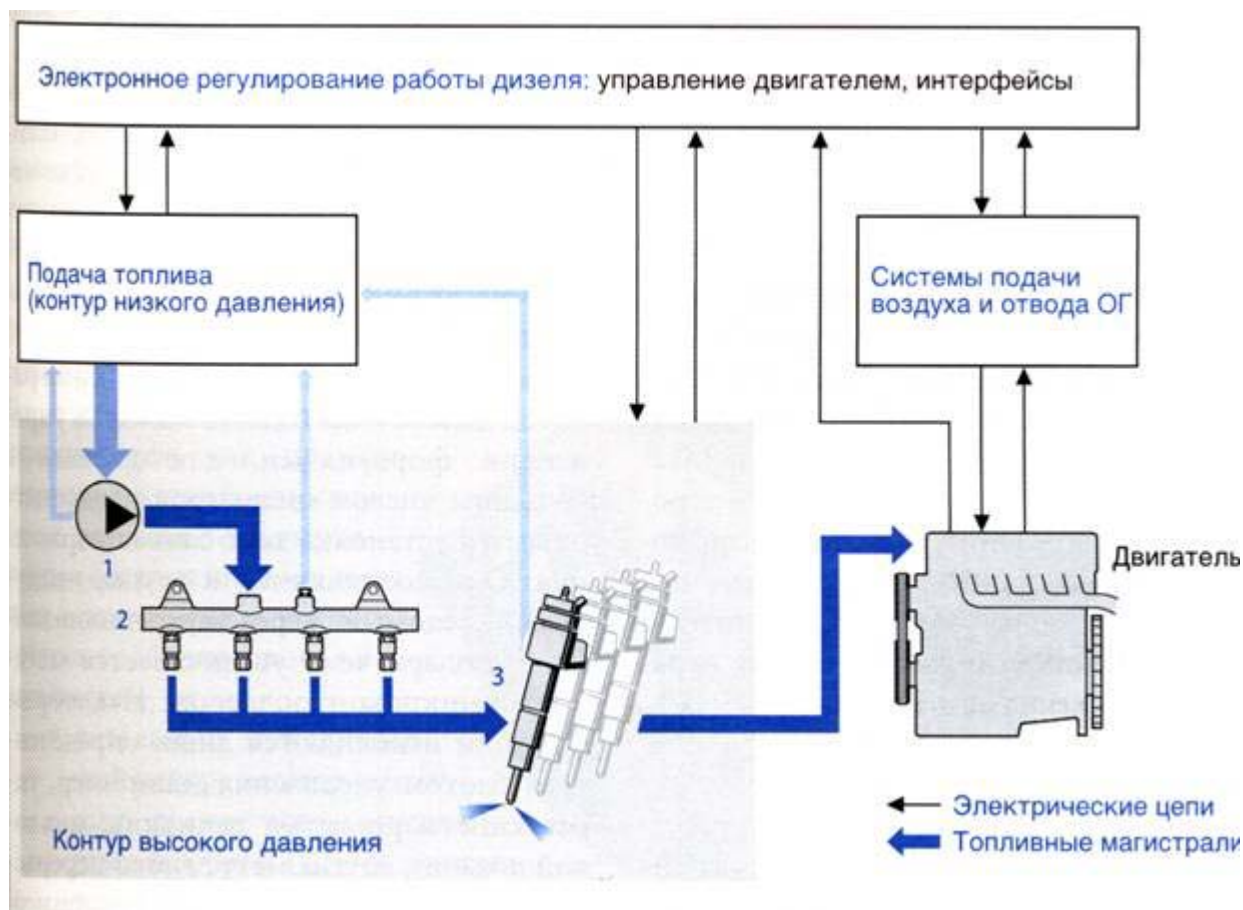


Рисунок 1 – Принципиальная схема управления работой дизеля с аккумуляторной системой впрыска
1 – ТНВД; 2 – топливный аккумулятор высокого давления; 3 - форсунки

Важнейшим элементом аккумуляторной системы впрыска является форсунка с быстродействующим электромагнитным клапаном. Он открывает и закрывает распылитель, регулируя процесс впрыскивания топлива в каждом цилиндре. В отличие от прочих систем впрыска с управлением электромагнитными клапанами, в аккумуляторной системе Common Rail впрыскивание топлива в камеру сгорания происходит при открытом электромагнитном клапане.

Все форсунки подсоединены к топливному аккумулятору высокого давления, отсюда и название системы. Ее модульное исполнение облегчает адаптацию к конкретному двигателю.

3. Принцип действия

Действие аккумуляторной системы впрыска топлива основано на том, что процессы создания высокого давления и обеспечения впрыскивания разделены. Система электронного регулирования работы дизеля раздельно управляет работой всех узлов.

Непрерывно работающий ТНВД с приводом от двигателя создает требуемое давление впрыскивания, обеспечивая некую постоянную величину давления в топливном аккумуляторе, независимо от частоты вращения коленчатого вала и расхода топлива. Это означает, что ТНВД работает в постоянном режиме, с меньшими пиками крутящего момента и меньшей пиковой производительностью, чем в традиционных системах впрыска. Соответственно, его размеры также могут быть существенно компактнее.

Регулирование давления происходит с помощью клапана регулирования давления и/или управлением на входе в ТНВД. Находящееся в аккумуляторе высокого давления топливо подготовлено к впрыскиванию.

Топливо из аккумулятора по коротким магистралям высокого давления поступает к форсункам, которые впрыскивают его непосредственно в камеры сгорания цилиндров двигателя. Каждая форсунка состоит в основном из распылителя и быстродействующего электромагнитного клапана, который управляет распылителем через механический привод. Электромагнитные клапаны приводятся в действие сигналами от блока управления работой дизеля.

Количество впрыскиваемого топлива при постоянном давлении в топливном аккумуляторе пропорционально времени включения электромагнитного клапана и не зависит при этом от частоты вращения коленчатого вала двигателя или частоты вращения вала ТНВД (регулирование впрыскивания по времени).

4. Агрегаты контура высокого давления системы

Контур высокого давления аккумуляторной системы Common Rail делится на три части: создания давления, его аккумуляирования и дозировки топлива (рис. 2 и 3).

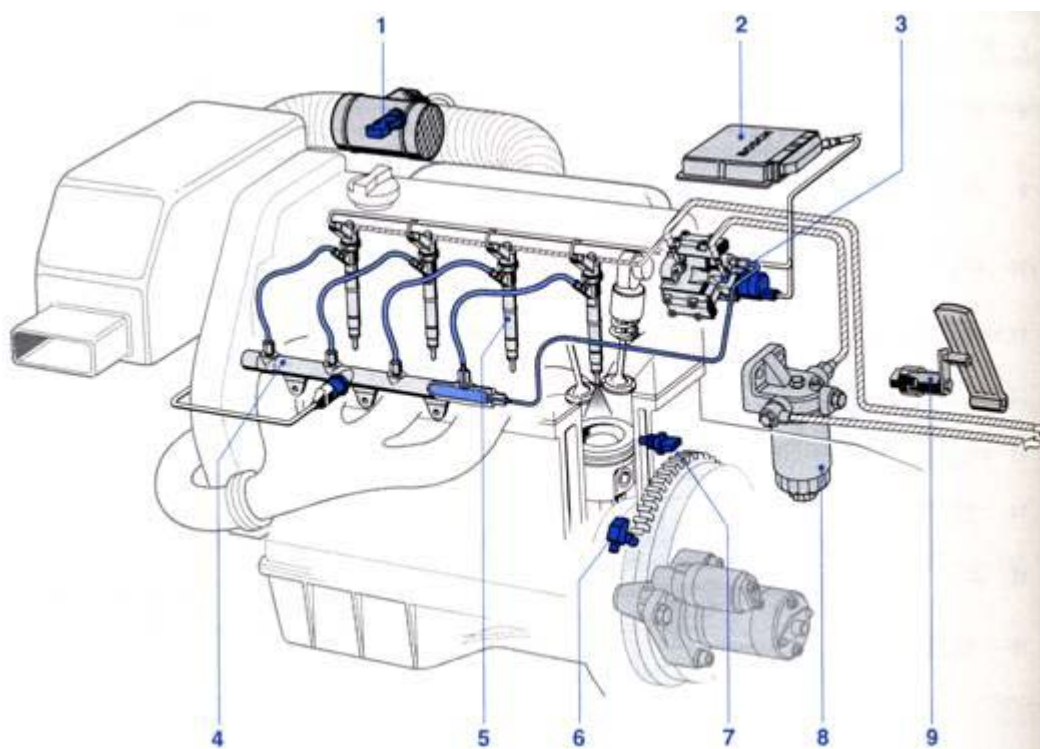


Рисунок 2 – Схема аккумуляторной системы впрыска топлива:

1 – датчик массового расхода воздуха; 2 – блок управления работой двигателя; 3 – ТНВД; 4 – аккумулятор высокого давления; 5 – форсунка; 6 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 7 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 8 – топливный фильтр; 9 – датчик положения педали подачи топлива

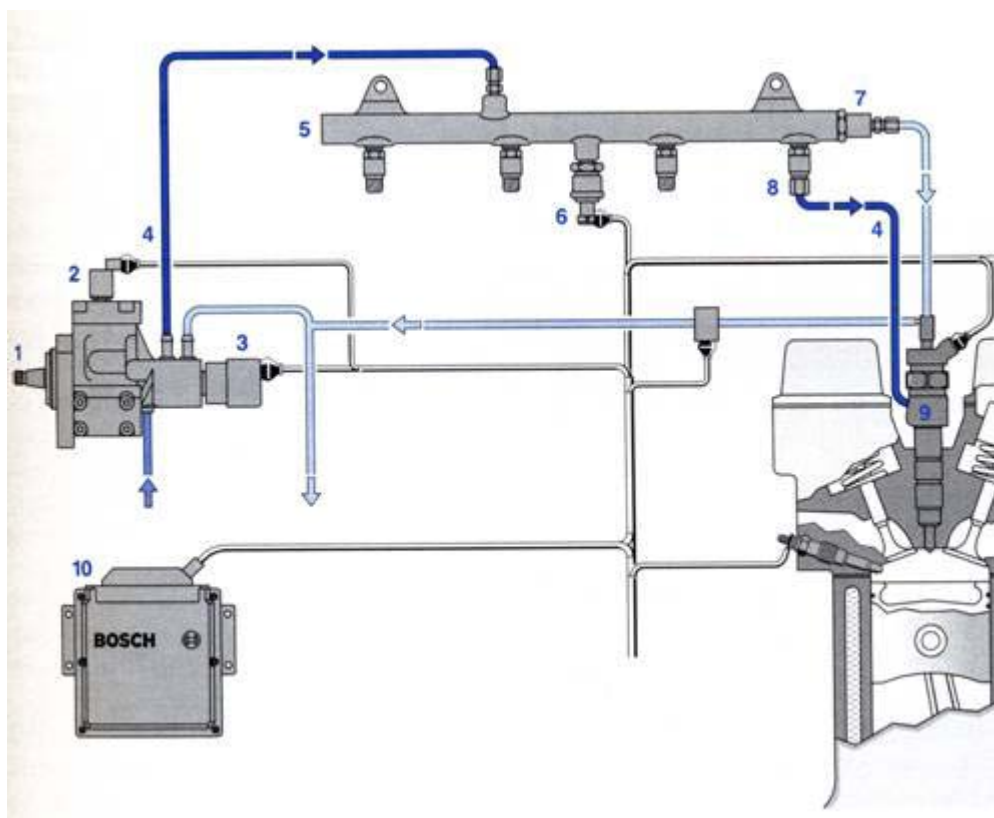


Рисунок 3 – Контур высокого давления:

1 – ТНВД; 2 – клапан отключения плунжерной секции; 3 – клапан регулировки давления; 4 – магистраль высокого давления; 5 – аккумулятор высокого давления; 6 – датчик давления топлива в аккумуляторе; 7 – клапан ограничения давления; 8 – ограничитель пропускной способности; 9 – форсунка; 10 – блок управления работой двигателя

Топливный насос высокого давления

Основной функцией любого ТНВД является обеспечение подачи топлива к форсункам под необходимым давлением, на любых режимах работы двигателя и в течение всего срока эксплуатации транспортного средства. Система Common Rail отличается тем, что в ней ТНВД лишен распределительных функций и необходим лишь для создания резерва топлива и быстрого повышения давления в топливном аккумуляторе.

ТНВД создает постоянное давление величиной до 1600 бар для аккумулятора высокого давления. Предварительно сжатое топливо по сравнению с обычными системами впрыска не сжимается в процессе впрыскивания.

В аккумуляторных системах легковых автомобилей используется радиальный плунжерный ТНВД, который создает высокое давление топлива независимо от величины цикловой подачи.

ТНВД аккумуляторной системы впрыска устанавливается преимущественно на том же месте, что и обычные распределительные ТНВД традиционных систем питания дизелей. Он приводится в действие двигателем через муфту, шестерню, цепь или зубчатый ремень, а частота вращения вала ТНВД не превышает 3000 мин^{-1} и напрямую связана передаточным отношением с частотой вращения коленчатого вала. ТНВД смазывается проходящим через него топливом.

Клапан 3 регулирования давления (рис. 3) в зависимости от имеющегося подкапотного пространства устанавливается либо непосредственно на ТНВД, либо отдельно.

Три плунжера 3, радиально расположенные по окружности через 120° (рис. 5), сжимают топливо внутри ТНВД. Три рабочих хода каждого плунжера за один оборот вала ТНВД позволяют обеспечить незначительную и равномерную нагрузку на вал привода с

эксцентриковыми кулачками. Крутящий момент, достигающий величины 16 Н·м, составляет около 1/9 от амплитуды момента, необходимого для привода распределительного ТНВД обычного типа. Таким образом, система Common Rail способна функционировать при гораздо меньших энергозатратах.

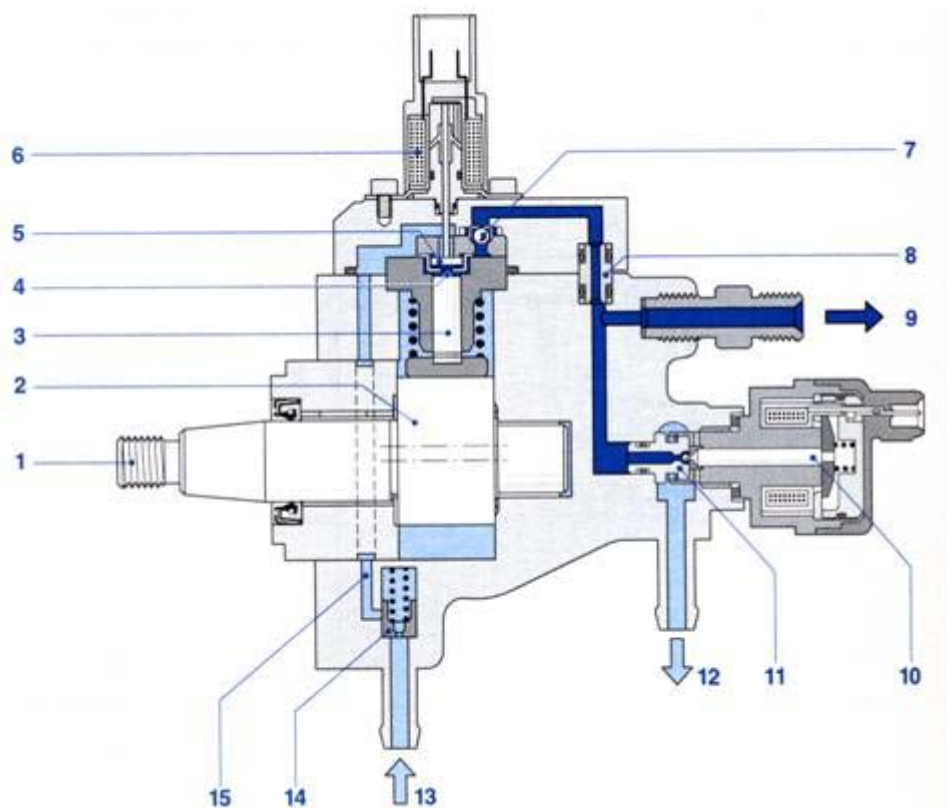


Рисунок 4 – Топливный насос высокого давления (продольный разрез):

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

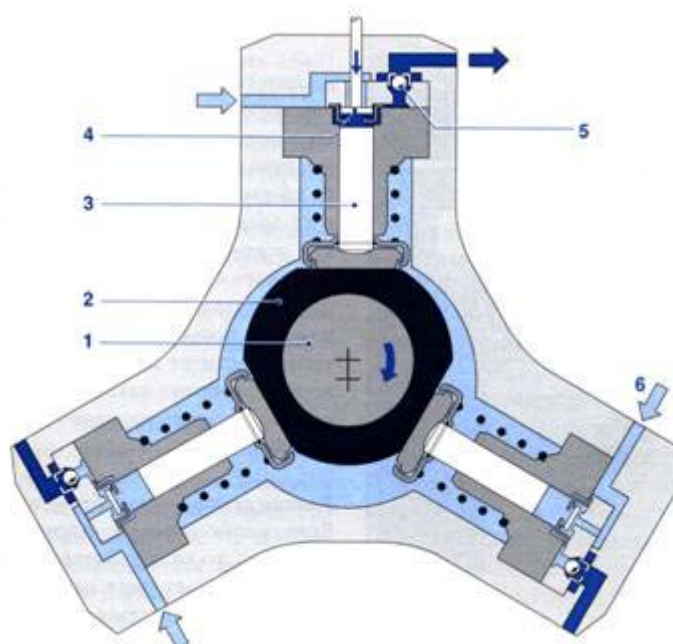


Рисунок 5 - Топливный насос высокого давления (поперечный разрез):

1 – вал привода; 2 – эксцентриковый кулачок; 3 – плунжер с втулкой; 4 – впускной клапан; 5 – выпускной клапан; 6 – подача топлива

Топливоподкачивающий насос подает топливо к ТНВД через фильтр с сепаратором воды. Пройдя через дроссельное отверстие защитного клапана 14 (рис. 4), топливо, используемое также для смазки и охлаждения деталей ТНВД, движется к плунжеру по системе каналов. Вал 1 привода с эксцентриковыми кулачками 2 одновременно заставляет поступательно двигаться все три плунжера 3.

Топливоподкачивающий насос создает давление подачи, превышающее величину, на которую рассчитан защитный клапан (от 0,5 до 1,5 бар). Последний открывает перепускной канал 15, по которому топливо через впускной клапан 5 поступает в камеру 4 над плунжером, движущимся вниз (то есть совершающим впуск). Когда НМТ плунжера пройдена, впускной клапан закрывается. Топливо в надплунжерном пространстве сжимается плунжером, идущим вверх. Когда возрастающее давление достигнет уровня, соответствующего тому, что поддерживается в аккумуляторе высокого давления, открывается выпускной клапан 7. Сжатое топливо поступает в контур высокого давления.

Плунжер ТНВД подает топливо до тех пор, пока не достигнет своей ВМТ (ход подачи). Затем давление падает, выпускной клапан закрывается. Плунжер начинает движение вниз.

Когда величина давления в надплунжерном пространстве опускается ниже величины давления подкачки, впускной клапан открывается и процесс повторяется.

Так как ТНВД рассчитан на большую величину подачи, на холостом ходу при частичных нагрузках возникает избыток сжатого топлива, которое через клапан регулирования давления и магистраль обратного слива возвращается в топливный бак. Здесь давление топлива падает, и потенциальная энергия потока топлива иссякает. Поскольку топливо под давлением нагревается, то под влиянием температуры топлива, поступающего из магистрали обратного слива, постепенно повышается температура топлива в баке. Соответственно снижается КПД системы.

При отключении одной плунжерной секции 3 сокращается количество топлива, которое подается в аккумулятор высокого давления. Если электромагнитный клапан 6 отключения плунжерной секции задействован, то встроенный в его якорь штифт нажимает на впускной клапан 5, постоянно держа его в открытом положении. Поступившее в надплунжерное пространство топливо не сжимается во время хода подачи, повышения давления не происходит, выпускной клапан не открывается. Соответственно топливо не поступает в контур высокого давления, а возвращается в контур низкого давления. При снижении потребной мощности отключение одной из плунжерных секций позволяет регулировать производительность ТНВД.

Клапан регулирования давления

Клапан регулирования давления устанавливает величину давления в аккумуляторе высокого давления в зависимости от нагрузки на двигатель.

При слишком высоком давлении в аккумуляторе клапан открывается и часть топлива из аккумулятора отводится через магистраль обратного слива назад к топливному баку.

При падении давления в аккумуляторе клапан закрывается и замыкает контуры высокого и низкого давления.

Клапан регулирования давления (рис. 6) крепится через фланец к корпусу ТНВД или аккумулятора высокого давления.

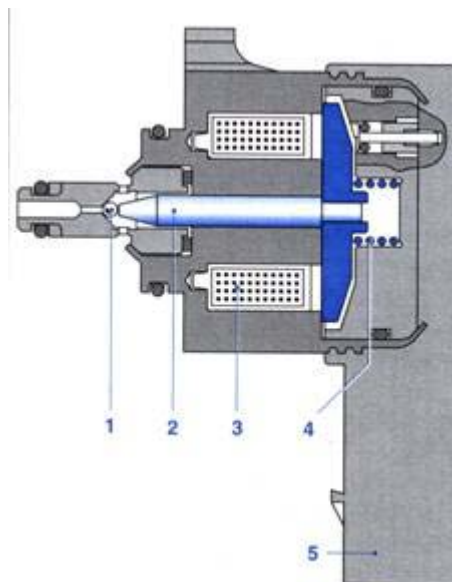


Рисунок 6 – Клапан регулирования давления:

1 – шарик клапана; 2 – якорь 4 3 – электромагнит; 4 – пружина клапана; 5 – электрический штекер

Якорь 2 прижимает шарик 1 клапана к седлу под действием пружины клапана 4 так, чтобы разъединить контуры высокого и низкого давления. Включенный электромагнит 3 перемещает якорь, прикладывая дополнительное усилие к прижатию шарика к седлу.

Весь якорь омывается топливом, которое смазывает трущиеся поверхности и отводит лишнее тепло.

Клапан регулирования давления отключен

От аккумулятора или на выходе ТНВД топливо под высоким давлением подается ко входу клапана. Так как обесточенный электромагнит не развивает никаких усилий, сила давления топлива преодолевает силу действия пружины. Клапан открывается и остается в таком положении большее или меньшее время в зависимости от цикловой подачи. Пружина подобрана таким образом, чтобы устанавливалось давление топлива около 100 бар.

Клапан регулирования давления включен

Если необходимо повысить величину давления, то сила действия электромагнита дополняет силу давления пружины. Якорь смещается вниз, уменьшая диаметр проходного сечения, до тех пор, пока объединенное усилие электромагнита и пружины не уравнивается давлением топлива. Затем якорь остается в этом положении, поддерживая постоянное давление. Величина давления может варьироваться в зависимости от изменения величины подачи топлива в аккумулятор. Давление в клапане может снижаться также из-за увеличения расхода топлива, впрыскиваемого через форсунки.

Аккумулятор высокого давления

Аккумулятор высокого давления содержит топливо под высоким давлением. Одновременно аккумулятор смягчает колебания давления, которые возникают из-за пульсирующей подачи со стороны ТНВД, а также из-за работы форсунок во время впрыскивания. Этим обеспечивается постоянство давления впрыскивания при открытии форсунки.

Распределение топлива по форсункам также входит в функции аккумулятора.

Аккумулятор 1 высокого давления в общем виде имеет форму трубки (рис. 7). В зависимости от конструкции двигателя конкретное исполнение аккумулятора может иметь разные формы. На аккумулятор могут устанавливаться датчик 3 давления топлива и клапан 4 ограничения давления. В качестве дополнительного оборудования могут

устанавливаются ограничители расхода топлива и клапан регулирования давления, если он не расположен на ТНВД.

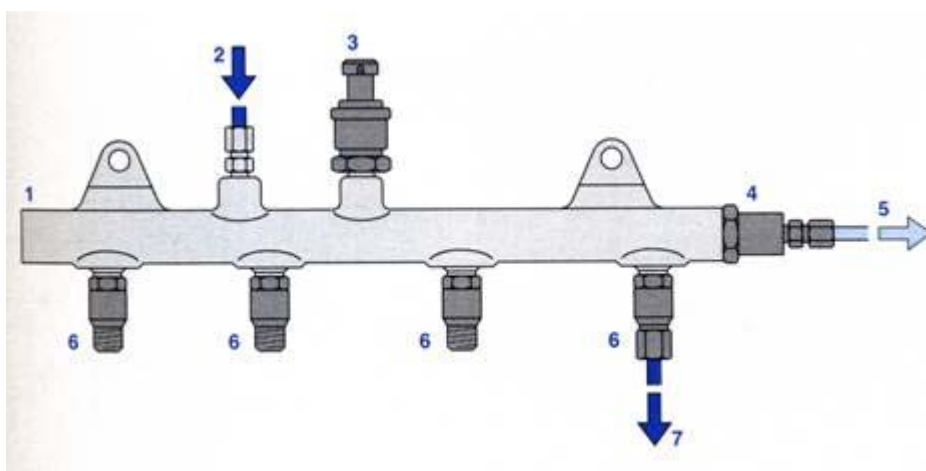


Рисунок 7 – Аккумулятор высокого давления:

1 – аккумулятор высокого давления; 2 – магистраль высокого давления к впускному штуцеру; 3 – датчик давления топлива; 4 – клапан ограничения давления; 5 – магистраль обратного слива; 6 – ограничитель расхода топлива; 7 – магистраль высокого давления к форсунке

Топливо из ТНВД направляется через магистраль высокого давления к впускному штуцеру 2 аккумулятора. Из аккумулятора оно распределяется по отдельным форсункам.

Давление внутри аккумулятора измеряется датчиком давления топлива и ограничивается клапаном регулирования давления до некой максимально допустимой величины в зависимости от параметров системы впрыска. Через ограничитель расхода топлива, который дросселирует поток топлива, последнее под давлением поступает к форсункам. Объем аккумулятора постоянно наполнен топливом, находящимся под давлением. Величина этого давления поддерживается на постоянном уровне даже при больших нагрузках на двигатель, когда возрастает расход топлива через форсунки.

Форсунка

Форсунки связаны с аккумулятором короткими магистралями высокого давления. Так же, как и на дизелях с непосредственным впрыском топлива, форсунки системы Common Rail устанавливаются с зажимными скобами в головке цилиндра. Тем самым допускается возможность установки форсунок системы Common Rail на дизели с непосредственным впрыском топлива без кардинальной модернизации головок.

Требуемые момент начала впрыскивания и величина подачи топлива обеспечиваются форсунками с электромагнитным клапаном. Момент начала впрыскивания в координатах «угол-время» устанавливается системой электронного регулирования работы дизеля. Необходимы также два датчика: один измеряет частоту вращения коленчатого вала, другой предназначен для распознавания цилиндров и определения фаз на распределительном валу.

Форсунка состоит из следующих функциональных блоков:

- бесштифтовой распылитель;
- гидравлическая сервосистема;
- электромагнитный клапан.

Топливо подается по магистрали 9 высокого давления (рис.8а) через подводящий канал к распылителю форсунки, а также через дроссельное отверстие 10 подачи топлива — в камеру 5 управляющего клапана. Через дроссельное отверстие 8 отвода топлива, которое может открываться электромагнитным клапаном, камера соединяется с магистралью 1 обратного слива топлива.

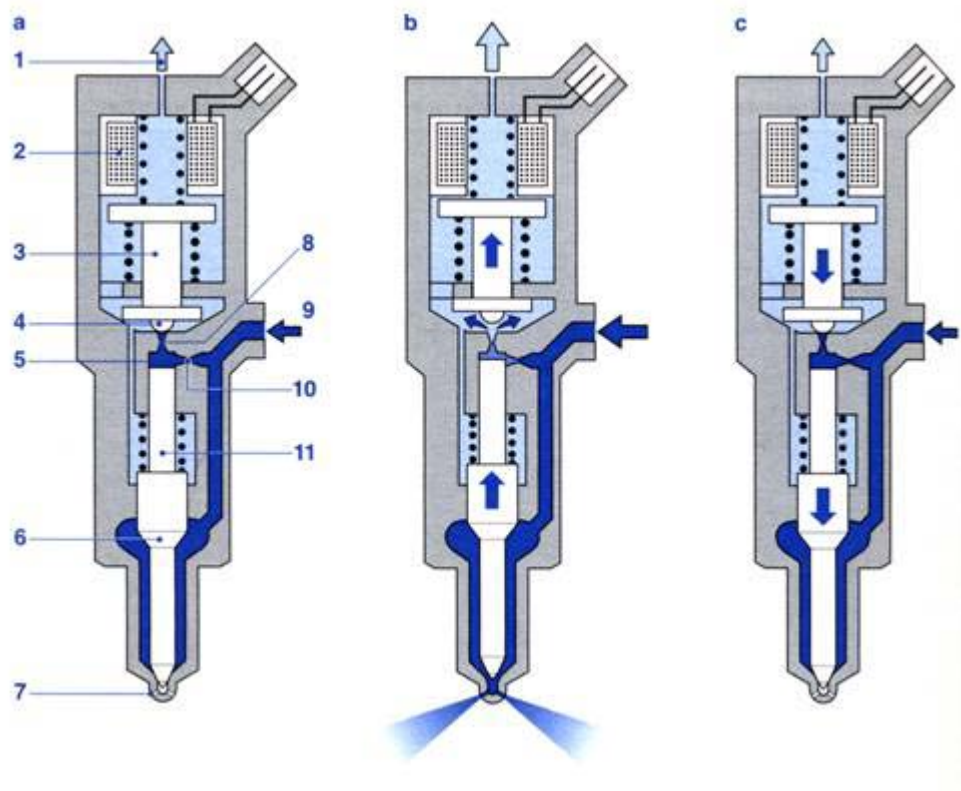


Рисунок 8 – Принцип действия форсунки:

а – форсунка в состоянии покоя; б – форсунка открыта; с – форсунка закрыта

1 – магистраль обратного слива топлива; 2 – катушка электромагнита; 3 – якорь электромагнита; 4 – шарик клапана; 5 – камера управляющего давления; 6 – конус иглы распылителя; 7 – отверстия распылителя; 8 – дроссельное отверстие отвода топлива; 9 – магистраль высокого давления; 10 – дроссельное отверстие подачи топлива; 11 – поршень управляющего давления

При закрытом дроссельном отверстии 8 (рис.8а) гидравлическая сила, действующая сверху на поршень 11 управляющего клапана, превышает силу давления топлива снизу на конус 6 иглы распылителя. Вследствие этого игла прижимается к седлу распылителя и плотно закрывает отверстия 7 распылителя. В результате топливо не попадает в камеру сгорания.

При срабатывании электромагнитного клапана якорь электромагнита сдвигается вверх (на рис. 8), открывая дроссельное отверстие 8 (рис. 8б). Соответственно снижаются как давление в камере управляющего клапана, так и гидравлическая сила, действующая на поршень управляющего клапана. Под действием давления топлива на конус 6 игла распылителя отходит от седла, так что топливо через отверстия 7 распылителя попадает в камеру сгорания цилиндра. Такое не прямое управление иглой применяют по той причине, что непосредственного усилия электромагнитного клапана недостаточно для быстрого подъема распылителя. Управляющая подача - это дополнительное количество топлива, предназначенного для подъема иглы, которое после использования отводится в магистраль обратного слива топлива.

Кроме управляющей подачи существуют утечки топлива через иглу распылителя и направляющую поршня управляющего клапана. Все это топливо отводится в магистраль обратного слива, к которой присоединены все прочие агрегаты системы впрыска, и возвращается в топливный бак.

В настоящее время на двигателях начинают применять форсунки с пьезоэлектрическим клапаном (рис.9).

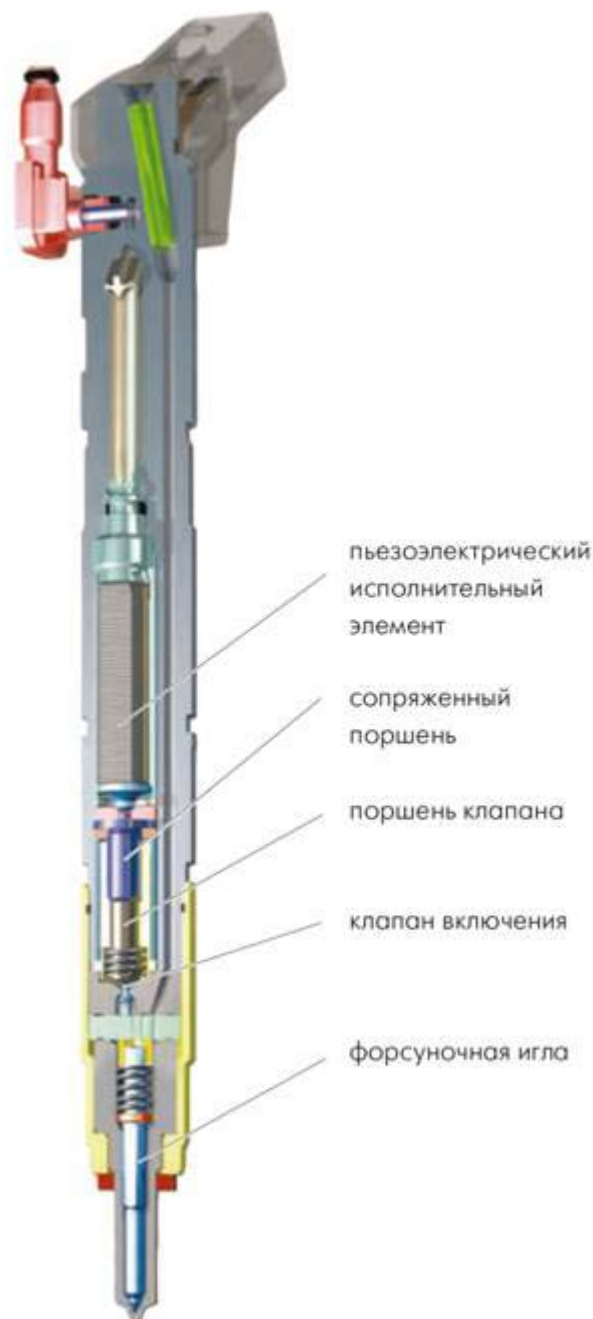


Рисунок 9 – Форсунка с пьезоэлектрическим управлением

У пьезотехнологии по сравнению с электромагнитными форсунками движущаяся масса на игле форсунки меньше на 75 %. Уменьшение веса дает следующие преимущества:

- очень короткое время включения;
- возможно несколько впрысков на каждый рабочий такт;
- можно точно дозировать впрыскиваемое количество топлива .

Процесс впрыска, который может состоять из пяти частичных впрысков на каждый рабочий такт, имеет до двух предварительных впрысков в нижнем диапазоне оборотов и два дополнительных впрыска. Это позволяет получать меньший выброс отработавших газов и мягкий процесс сгорания.

При сжатии кристаллической решетки, состоящей из ионов (турмалин, кварц), возникает электрическое напряжение. При приложении электрического напряжения

можно добиться обратимости пьезоэлектрического эффекта. При этом кристалл расширяется. Этот эффект применяется для управления форсунками.