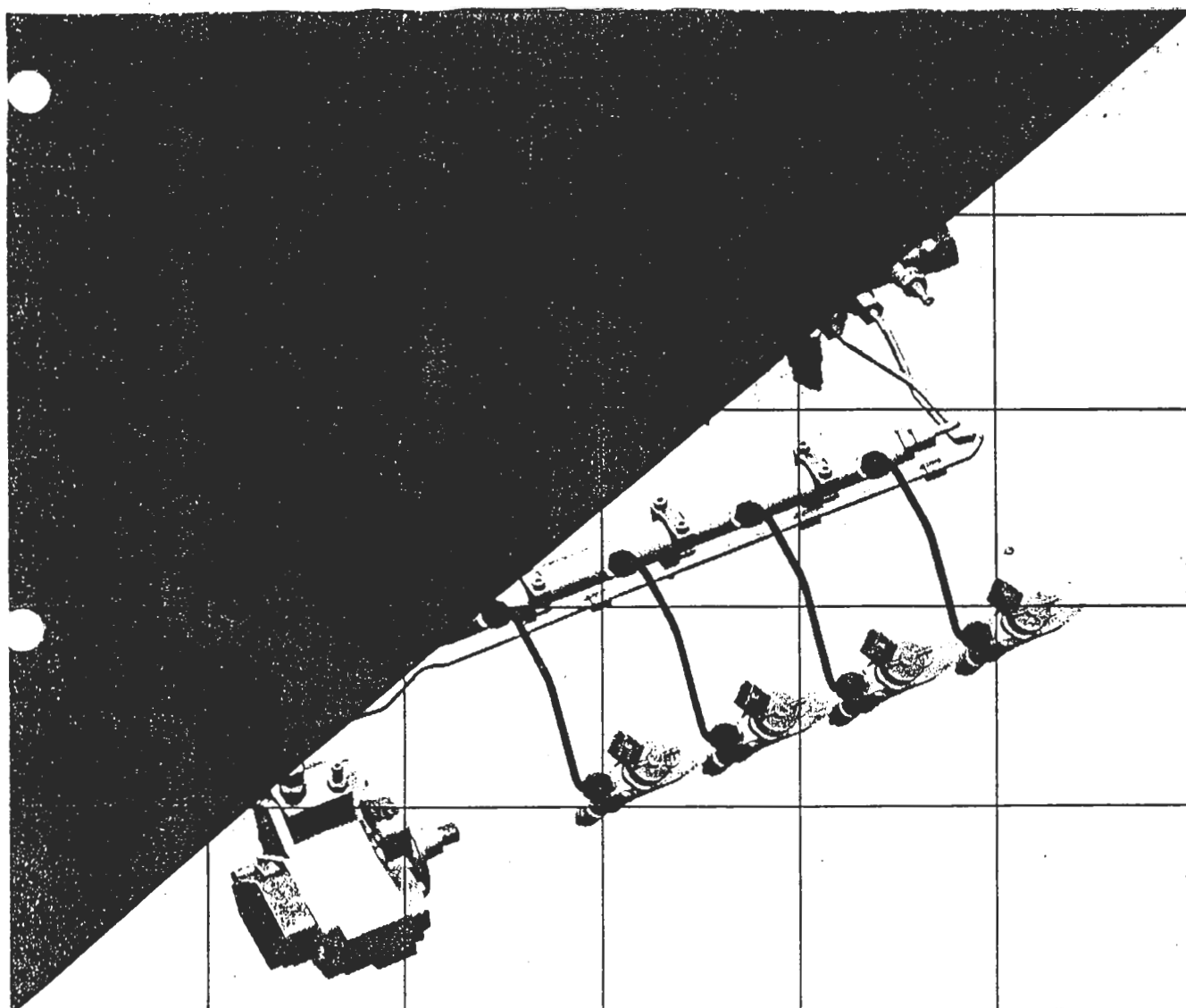


Дизельные двигатели DI Common Rail

Рабочий
материал
семинара



БМВ
Сервис тренинг

Замечание

Содержащаяся в брошюре учебного курса информация предназначена исключительно для участников учебного курса БМВ сервис-тренинга.

Состояние информации: сентябрь 1998.

Об изменениях/дополнениях технических данных можно проинформироваться в соответствующей информации «технического сервисного обслуживания».

МК - 12, W.R. Fritsche, M. Schmitz

1. Краткое описание принципа действия	3
2. Требования и цели	4
3. Устройство системы	5
4. Описание узлов	8
4.1 Топливный бак	8
4.2 Топливноподающий насос	8
4.3 Дополнительный топливopодкачивающий насос	9
4.4 Топливный фильтр	11
4.5 Датчик давления притока	12
4.6 Клапан ограничения давления (система НД)	13
4.7 Топливный насос высокого давления	14
4.8 Редукционный клапан	18
4.9 Топливный аккумулятор высокого давления (Rail)	20
4.10 Датчик давления в рэйле	23
4.11 Инжектор	26
4.12 Подогрев / охлаждение топлива (воздушный теплообменник)	32
4.13 Распределительный патрубок с дросселем	34
5. Обзор систем впрыскивания	35
5.1 Системы впрыскивания	35
5.2 Обычный характер впрыскивания	36
5.3 Характер впрыскивания Common Rail	37
5.4 Распределительное впрыскивание (радиально - поршневой принцип)	40
5.5 Насос - форсунка	40
5.6 Common Rail	41
5.7 Обобщение по системе Common Rail	42

1. Краткое описание принципа действия

В двигателе M 57 впервые в дизельных двигателях BMW применена система впрыскивания с аккумулятором высокого давления (Common Rail). При этом новом принципе впрыскивания топливным насосом высокого давления, в общей для всех инжекторов топливной магистрали - Common Rail - создаётся высокое давление, оптимальное для текущего момента работы двигателя.

В системе Common Rail впрыскивание и сжатие разъединены. Давление впрыскивания создаётся независимо от частоты вращения двигателя и количества впрыскиваемого топлива и накапливается в «Rail - e» (топливном аккумуляторе высокого давления) для впрыскивания.

Начало впрыскивания и количество впрыскиваемого топлива вычисляются в DDE и реализуются инжектором (впрыскивающим устройством) каждого цилиндра посредством управляемого магнитного клапана.

2. Требования и цели

Перед системой питания поставлены следующие высокие требования и цели. Главные из них касаются:

- давления впрыскивания,
- изменения момента начала впрыскивания,
- и формирования процесса впрыскивания.

высокое максимальное давление впрыскивания

- уменьшение размеров капель
- короткая продолжительность впрыскивания

начало впрыскивания устанавливается в широких пределах

- $> 20^\circ$ угла поворота коленчатого вала,
- в зависимости от нагрузки и частоты вращения
- в зависимости от температуры

возможность формирования процесса впрыскивания

- в начале низкая степень впрыскивания
- крутое снижение в конце впрыскивания
- возможность предварительного впрыскивания

Давление впрыскивания, с точки зрения показателей выхлопных газов и мощности, следует держать как можно более высоким. Высокое давление впрыскивания уменьшает размер капель и сокращает длительность впрыскивания.

Начало впрыскивания должно зависеть от нагрузки, частоты вращения, температуры, и меняться в широких пределах ($> 20^\circ$ угла поворота коленчатого вала).

Процесс впрыскивания в идеале начинается с низкого количества и завершается резко, без задержек. Предварительное впрыскивание малого количества топлива (1 - 2 % от общего количества) служит для понижения шумов сгорания.

3. Устройство системы

Система питания подразделяется на 2 подсистемы:

- систему низкого давления,
- систему высокого давления.

Система низкого давления состоит из следующих частей:

- топливного бака,
- топливоподающего насоса,
- клапанов предохранения от вытекания,
- дополнительного топливоподкачивающего насоса,
- топливного фильтра с датчиком давления притока,
- клапана ограничения давления (система НД);

а на стороне обратного потока топлива из:

- обогревателя топлива (биметаллический клапан),
- охладителя топлива,
- распределительного патрубка с дросселем.

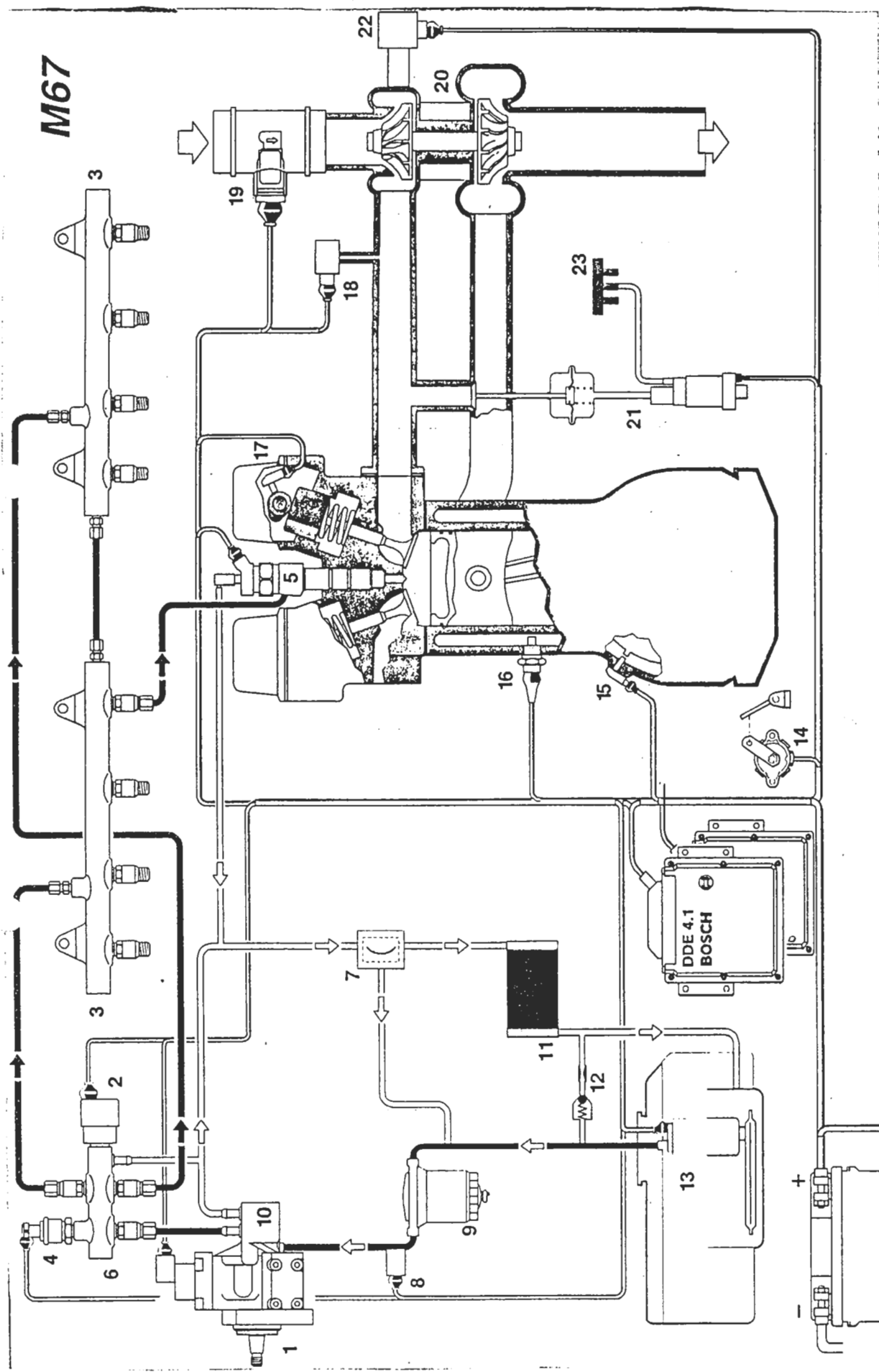
Система высокого давления состоит из следующих частей:

- насоса высокого давления,
- топливного аккумулятора высокого давления (Rail),
- редукционного клапана,
- датчика давления в рэйле,
- инжектора.

Системное давление составляет около

- в системе НД
 - на подводящей стороне $1,5 < p < 5$ бар (относительно)
 - на отводящей стороне $p < 0,6$ бар (относительно)
- в системе ВД $200 \text{ бар} < p < 1350 \text{ бар}$

Ниже эти узлы описаны по мере их расположения по ходу течения топлива.



- | | | | |
|--|-----------------------------|--|-------------------------------------|
| 1 - топливный насос высокого давления (СР 3.3) | 5 - инжектор | 13 - бак с ЕКР | 17 - датчик распределительного вала |
| 2 - редукционный клапан | 6 - блок - распределитель | 14 - датчик педали | 18 - датчик давления наддува |
| 3 - аккумулятор высокого давления (Rail) | 7 - биметаллический клапан | 15 - инкрементный датчик коленчатого вала | 19 - НFM |
| 4 - датчик давления в рейле | 8 - датчик давления топлива | 16 - датчик температуры охлаждающей жидкости | 20 - турбонагнетатель (VNT) |
| | | | 21 - 2x EPDw для AGR |
| | | | 22 - управление VNT |
| | | | 23 - вакуумный распределитель |

Рис. 2: схематическое изображение М 67

4. Описание узлов

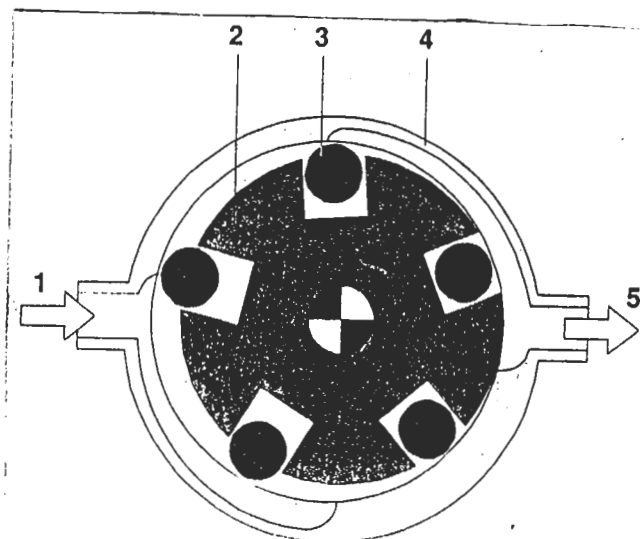
4.1 Топливный бак

Топливный бак в моделях E39 (M 57) и E38 (M 57, M 67) перенят из соответствующего варианта с двигателем M 51TÜ.

Два клапана предохранения вытекания в случае аварии (напр. при переворачивании) предотвращают вытекание топлива.

4.2 Топливоподающий насос

Электрический топливный насос (ЕКР) находится внутри топливного бака, в правой его половине.



- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1 - сторона всасывания | 4 - основание |
| 2 - подвижная пластина | 5 - сторона нагнетания |
| 3 - ролик | |

Рис. 3: ЕКР (шиберный роликовый насос) - E39 / E38

Электрический топливный насос подаёт топливо из горшка бака к двигателю и приводит в действие струйные насосы в левой и правой половинах бака. Струйные насосы, в свою очередь, подают топливо в горшок в правой половине топливного бака.

Работой насоса управляет контроллер через реле ЕКР.

4.3 Дополнительный топливopодкачивающий насос

Задача дополнительного топливopодкачивающего насоса - обеспечивать топливный насос высокого давления достаточным количеством топлива:

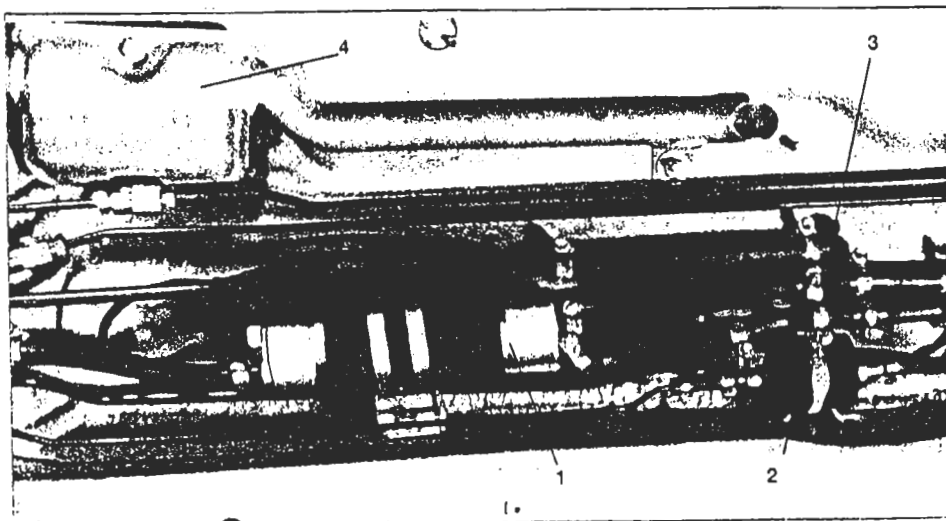
- в любом режиме работы двигателя,
- с необходимым давлением,
- во время всего срока службы.

В двигателях М57 и М67 используются разные дополнительные топливopодкачивающие насосы.

М57

Дополнительный топливopодкачивающий насос в двигателе М57 Е39 / Е38 - "инлайн" - электрический топливный насос (ЕКР), т.к. он расположен на подводющем топливopроводе.

Он находится под днищем автомобиля и выполнен как винтовой насос (высокая производительность).



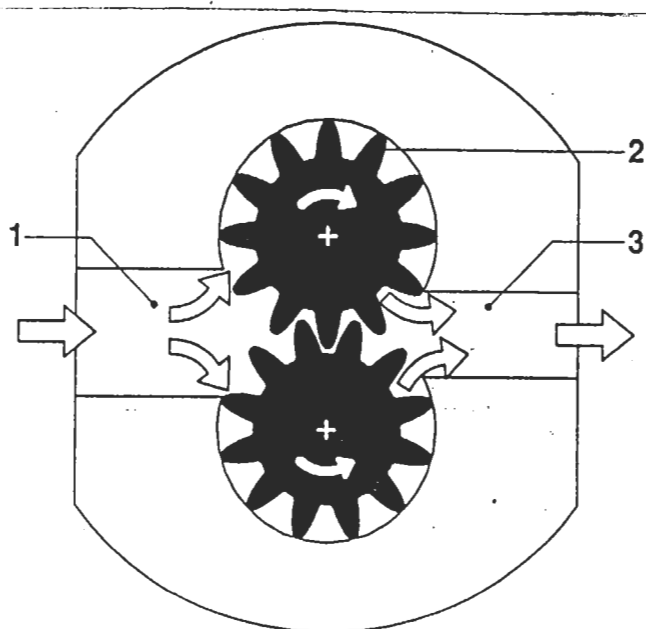
- 1 - дополнительный топливopодкачивающий насос ("инлайн" - насос)
- 2 - обогреватель топливного насоса или соответственно стояночное отопление
- 3 - распределительный патрубок (с дросселем)
- 4 - выхлопная система стояночного отопление

Рис. 4: дополнительный топливopодкачивающий насос - М57 Е38

Работой насоса управляет контроллер через реле ЕКР, параллельно с ЕКР.

M67

Дополнительный топливopодкачивающий насос двигателя M67 в E38 - шестерённый насос. Он соединён на фланцах с насосом высокого давления (CP3). Шестерённый насос заменяет имеющийся в двигателе M57 "инлайн" - насос ЕКР.



- 1 - камера всасывания
- 2 - ведущая шестерёнка
- 3 - камера нагнетания

Рис. 5: дополнительный топливopодкачивающий насос (шестерённый насос) - M67

Последствия в случае сбоя

- предупредительный сигнал контрольной лампы DDE
- потеря мощности в при частоте вращения > 2000 об / мин. (т.е. движение в подъём с частотой вращения < 2000 об / мин. возможно, при > 2000 об / мин. двигатель заглохнет).

4.4 Топливный фильтр

Топливный фильтр находится в отсеке двигателя на левой колёсной арке.



Рис. 6: топливный фильтр - место установки в E38 M57

Топливный фильтр очищает топливо перед его попаданием в насос высокого давления и таким образом предотвращает преждевременный износ чувствительных деталей. Недостаточная очистка может вызвать повреждения деталей насоса, напорных клапанов и форсунок.

Он не имеет электрического обогревателя топлива и водоотделителя. Фильтр аналогичен используемому в двигателе M51TÜ.

Электрический контакт соединён с датчиком давления притока.

Для предотвращения забивания фильтра парафиновыми хлопьями при низких температурах, в обратном топливопроводе имеется биметаллический клапан. Через него подогретое обратное топливо подмешивается к холодному топливу из бака.

4.5 Датчик давления притока

Датчик давления притока размещён в корпусе топливного фильтра позади фильтрующего элемента. Он является специальной деталью БМВ.



Рис. 7: топливный фильтр с датчиком давления притока - место установки в E38 M57

Его задачей является измерение давления притока к топливному насосу высокого давления (ТНВД) в топливопроводе.

Таким образом у DDE появляется возможность при пониженном давлении притока настолько снизить количество впрыскиваемого топлива, что произойдёт снижение частоты вращения и давления в рэйле. При этом уменьшается необходимое количество топлива поступающего к насосу высокого давления. Этим достигается возможность возрастания давления притока перед ТНВД на требуемый уровень.

При давлении притока $< 1,5$ бар возможно повреждение ТНВД вследствие недостаточного наполнения.

При разности давлений между впускным и нагнетательным топливопроводами на ТНВД $\leq 0,5$ бар, двигатель резко глохнет (защита насоса).

4.6 Клапан ограничения давления (система НД)

Клапан ограничения давления расположен между топливным фильтром и топливным насосом высокого давления. Он находится в соединительном проводе, соединяющем впускной топливопровод перед ТНВД и возвратный топливопровод за ТНВД.

Задача

Задача клапана ограничения давления идентична задаче предохранительного клапана. Он ограничивает давление притока к насосу высокого давления на 2,0 - 3,0 бар. Избыток давления ликвидируется путём перенаправления лишнего топлива в возвратный топливопровод.

Он защищает насос высокого давления и дополнительный топливоподкачивающий насос от перегрузок.

Последствия в случае неисправности

- повышенное давление сокращает срок службы дополнительного топливоподкачивающего насоса,
- усиление поточных шумов в области ТНВД и дополнительного топливоподкачивающего насоса,
- возможно выдавливание сальника ТНВД.

4.7 Топливный насос высокого давления

Топливный насос высокого давления (ТНВД) находится впереди на левой стороне двигателя (сравнимо с распределительным ТНВД).

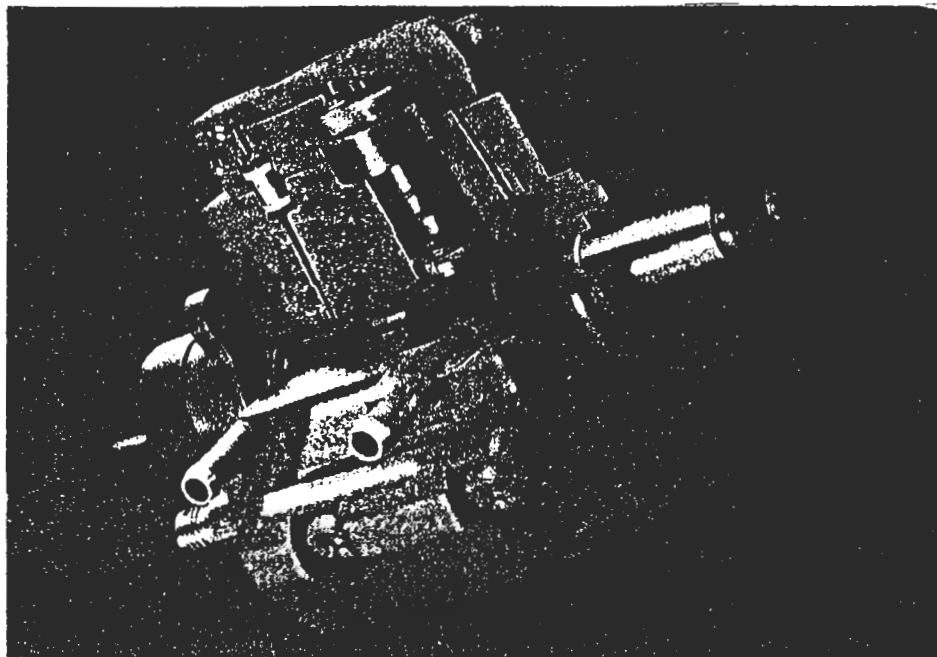


Рис. 8: топливный насос высокого давления (CP1 - M57)

В зависимости от модели двигателя применяются разные ТНВД:

- ТНВД с присоединённым на фланцах редукционным клапаном (M57 - CP1, common rail pump),
- ТНВД с возможностью отключения элемента (M67 - CP3, common rail pump).

Различия между CP1 (M57) и CP3 (M67)

	CP1 (M57)	CP3 (M67)
принцип нагнетания	3 плунжерный радиальный насос с эксцентриковым валом	
макс. напор	1350 бар	1600 бар ¹
мин. давление притока / перепад давлений	1,9 бар / 0,5 бар ²	0 бар ³
макс. частота вращения / номинальное давление	3300 об / мин. / 1350 бар	4000 об / мин. / 1350 бар
передаточное число (к.в.)	4 : 3	6 : 5

1. На данный момент в двигателе M67 ещё не применяется, планируется ввести в будущих CR-системах, в которых регулирование давления будет реализовано в виде количественного регулирования на стороне всасывания.
2. Наполнение элемента.
3. Насос CP3 пригоден для работы в дросселированном режиме всасывания. Однако эта особенность шестерённого насоса пока не используется в M67.

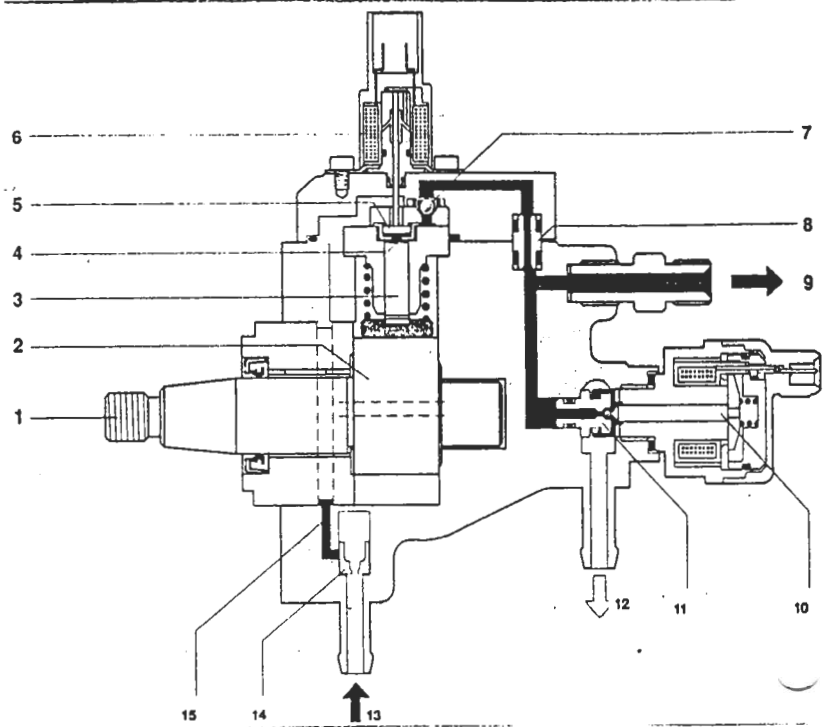
Насос CP3, по сравнению с насосом CP1, имеет следующие дополнительные узлы:

- в качестве дополнительного топливopодкачивающего насоса присоединён шестерённый насос,
- магнитный клапан для регулирования объёмopотока со стороны всасывания (в двигателе M67 на данном этапе применён лишь в функции "ELAB", в будущих CR-системах магнитный клапан будет применяться для регулирования объёмopотока со стороны всасывания с целью регулирования давления.)

Задача

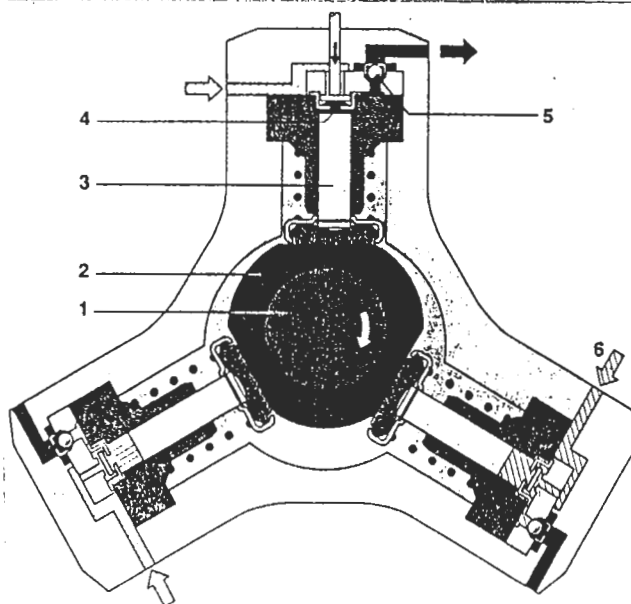
Насос высокого давления является местом стыковки между системами низкого и высокого давления. Его задача состоит в подаче достаточного количества топлива под необходимым давлением во всех режимах работы двигателя в течение всего срока службы автомобиля. Это включает в себя также и обеспечение подачи резерва топлива, необходимого для быстрого пуска двигателя и скорого возрастания давления в рэйле.

Устройство



- | | |
|--|--|
| 1 - приводной вал | 10 - редукционный клапан |
| 2 - эксцентрик | 11 - шариковый клапан |
| 3 - плунжерная пара с плунжером | 12 - возврат топлива |
| 4 - камера сжатия | 13 - впуск топлива |
| 5 - впускной клапан | 14 - предохранительный клапан с дроссельным отверстием |
| 6 - клапан отключения элемента (у BMW нет) | 15 - канал низкого давления к плунжерной паре |
| 7 - выпускной клапан | |
| 8 - уплотнитель | |
| 9 - штуцер высокого давления к рейлю | |

Рис. 9: топливный насос высокого давления - продольный разрез (CP1)



- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| 1 - приводной вал | 4 - камера сжатия |
| 2 - эксцентрик | 5 - выпускной клапан |
| 3 - плунжерная пара с плунжером | 6 - впуск |

Рис. 10: топливный насос высокого давления - поперечный разрез

Принцип действия

Топливо подаётся через фильтр к впуску ТНВД (13) и лежащему за ним предохранительному клапану. Затем оно через дроссельное отверстие нагнетается в канал низкого давления (15). Этот канал связан с системами смазки и охлаждения насоса высокого давления. Поэтому ТНВД не подключен к какой-либо системе смазки.

Приводной вал (1) приводится в действие при помощи цепной передачи с частотой вращения несколько большей половины частоты вращения двигателя (макс. 3300 мин.^{-1}). Посредством эксцентрика (2), в соответствии с его формой, приводятся в возвратно-поступательное движение три плунжера (3).

Когда давления в канале низкого давления превышает давление открывания впускного клапана (5) (0,5 - 1,5 бар), топливоподающий насос нагнетает топливо в ту камеру сжатия, плунжер которой движется вниз (ход всасывания). когда плунжер проходит мёртвую точку, впускной клапан закрывается. Топливо в камере сжатия (4) оказывается закрытым. Теперь происходит его сжатие. Создающееся давление открывает выпускной клапан (7) как только достигается давление рэйля. Сжатое топливо попадает в систему высокого давления.

Плунжер насоса нагнетает топливо до того момента, когда он достигает верхней мёртвой точки (ход нагнетания). после этого давление падает, так что выпускной клапан закрывается. Остаточное топливо разрежается. Плунжер движется вниз.

Когда давление в камере сжатия становится ниже давления канала низкого давления, впускной клапан вновь открывается. Процесс начинается с начала.

Насос высокого давления постоянно создаёт системное давление для аккумулятора высокого давления (рэйля). Давление в рэйле определяется редукционным клапаном.

Поскольку насос высокого давления рассчитан на большой объём подачи, то на холостом ходу или в диапазоне частичных нагрузок возникает избыток сжатого топлива. Так как при возврате избытка сжатое топливо разрежается, энергия, полученная во время сжатия превращается в тепло и нагревает топливо.

Это избыточное топливо возвращается через редукционный клапан и охладитель топлива в топливный бак.

4.8 Редукционный клапан

Редукционный клапан в двигателе M57 расположен на насосе высокого давления, а в двигателе M67 на распределительном блоке (см. рис. Аккумулятора высокого давления - рэйля).

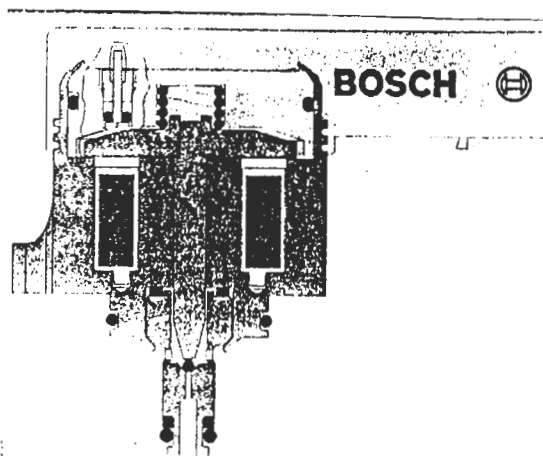


Рис. 11: редукционный клапан

Задача

Задачей редукционного клапана является регулирование и поддержание давления в рэйле в зависимости от нагрузки двигателя.

- При повышенном давлении в рэйле редукционный клапан открывается, так что часть топлива из рэйла через коллекторный провод возвращается в топливный бак.
- При пониженном давлении в рэйле редукционный клапан закрывается и разобщает системы низкого и высокого давления.

Устройство

DDE - контроллер посредством катушки воздействует на якорь, который в свою очередь вдавливают шарик в седло клапана и таким образом уплотняет систему высокого давления относительно системы низкого давления. При отсутствии воздействия со стороны якоря, шарик удерживается пружинным пакетом. Для смазки и охлаждения якорь целиком омывается топливом из соседнего узла.

Принцип действия

Редукционный клапан имеет два регулирующих контура:

- электрический контур для регулирования переменного показателя давления в рэйле,
- механический контур для гашения высокочастотных колебаний давления.

Поскольку при регулировании давления в рэйле временной фактор играет важную роль, электрический контур сглаживает медленные, а механический контур быстро протекающие колебания и изменения давления в рэйле.

Редукционный клапан без управляющего воздействия

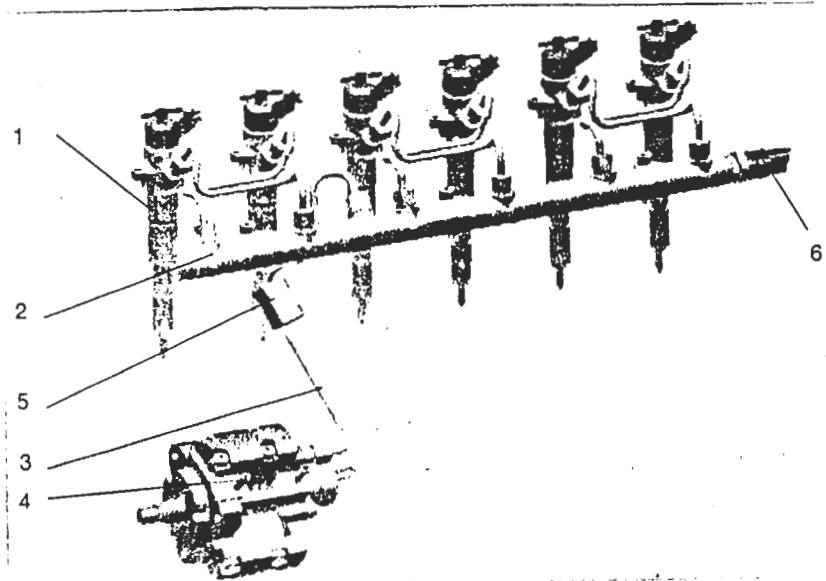
Давление в рэйле или на выходе насоса высокого давления через провод высокого давления воздействует на редукционный клапан. Поскольку обесточенный электромагнит не оказывает воздействия, давление топлива превышает силу пружины так что клапан открывается. Пружина устроена таким образом, что устанавливается давление в максимально 100 бар.

Редукционный клапан под управляющим воздействием

Если требуется повысить давление в системе высокого давления, дополнительно к усилию пружины действует сила магнита. На редукционный клапан так долго подаётся ток и он закрывается, пока давление топлива с одной стороны, и суммарная сила пружины и магнита с другой, не уравниваются. Магнитная сила электромагнита пропорциональна управляющему току. Изменения управляющего тока реализуются путём тактирования (широко-импульсная модуляция). Тактовая частота в 1 кГц достаточно высока, чтобы избежать лишних движений якоря, и отсюда нежелательных колебаний давления в рэйле.

4.9 Топливный аккумулятор высокого давления (Rail)

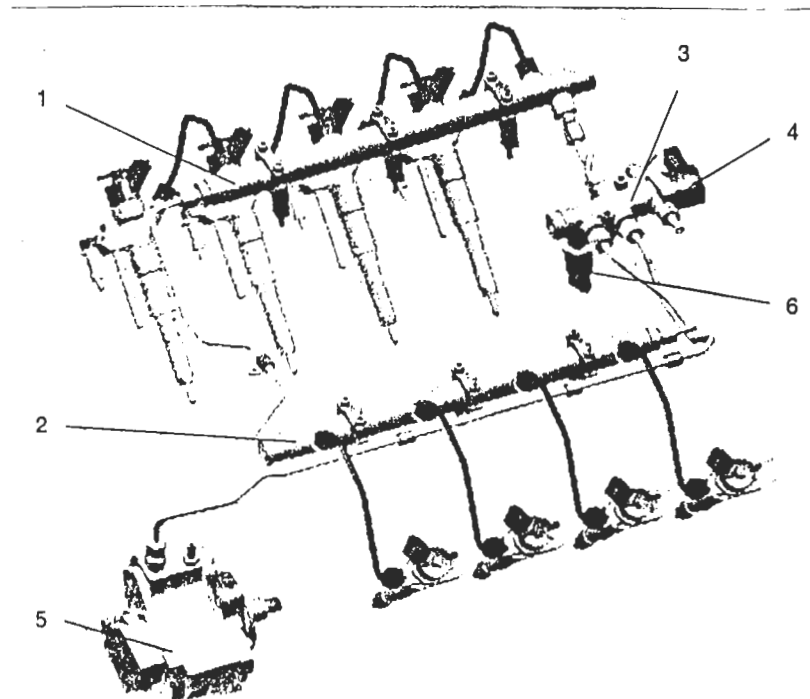
Топливный аккумулятор высокого давления (Rail - рэйл) расположен рядом с крышкой головки блока цилиндров, под крышкой двигателя.



- 1 - инжекторы
- 2 - аккумулятор высокого давления (рэйл)
- 3 - редукционный клапан

- 4 - насос высокого давления (CP1)
- 5 - резиновый элемент
- 6 - датчик давления в рэйле

Рис. 12: топливный аккумулятор высокого давления (рэйл) - M57



- 1 - аккумулятор высокого давления (рэйл) банк 1
- 2 - аккумулятор высокого давления (рэйл) банк 2
- 3 - блок распределителя

- 4 - редукционный клапан
- 5 - насос высокого давления (CP3)
- 6 - датчик давления в рэйле

Рис. 13: топливный аккумулятор высокого давления (рэйл) - M67

Задача

В рэйле накапливается и предоставляется для впрыскивания топливо под высоким давлением.

Этот общий для всех цилиндров топливный аккумулятор (Common Rail), даже при отдаче достаточно больших количеств топлива, поддерживает фактически постоянное внутреннее давление. Таким образом обеспечивается практически постоянное давление впрыскивания при открывании инжектора.

Колебания давления, вызванные насосной подачей топлива и впрыскиванием, гасятся за счёт объёма аккумулятора.

Устройство

Основой рэйла является толстостенная труба с гнездами для подключения трубопроводов и датчиков.

В двигателе М57 в конец рэйла помещается датчик давления в рэйле.

В двигателе М67 используется 2 рэйла, связанных между собой закольцовывающим трубопроводом. В этой рэйл - системе датчик давления в рэйле установлен в блоке распределителя снизу, в вертикальном положении. Редукционный клапан также смонтирован в блок распределителя, а не в ТНВД.

Ограничитель протока (используемый в других Common Rail - системах) в двигателях М57 и М67 не применяется.

Рэйл в зависимости от вида установки в двигатель может быть устроен различным образом. Чем меньше объём рэйла, или соответственно его внутренний диаметр при одинаковых внешних габаритах, тем становятся возможными более высокие нагрузки. Меньший объём рэйла также снижает требования к производительности насоса высокого давления при пуске двигателя и изменении заданной величины давления в рэйле. С другой стороны, объём рэйла должен быть достаточно велик, чтобы избежать падения давления в момент впрыскивания. Внутренний диаметр трубы рэйла составляет приблизительно 9 мм.

Рэйл непрерывно снабжается топливом насосом высокого давления. Из этого промежуточного накопителя топливо через

топливопровод попадает к инжекторам. Давление в рэйле регулируется посредством редукционного клапана.

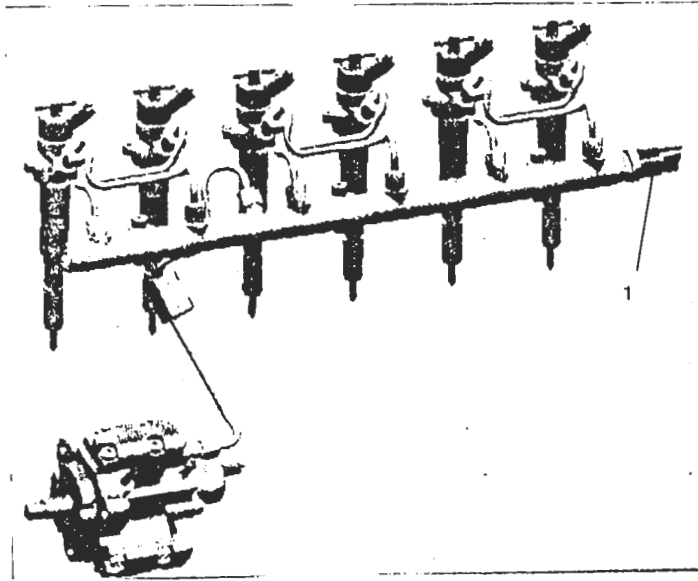
Принцип действия

Внутренний объём рэйла постоянно наполнен сжатым топливом. Достижимое вследствие высокого давления амортизирующее действие топлива используется для поддержания аккумулирующего эффекта.

Когда происходит отдача топлива из рэйла для впрыскивания, давление в рэйле остаётся практически неизменным. Кроме того, колебания давления гасятся, или соответственно сглаживаются пульсирующей подачей топлива насосом высокого давления.

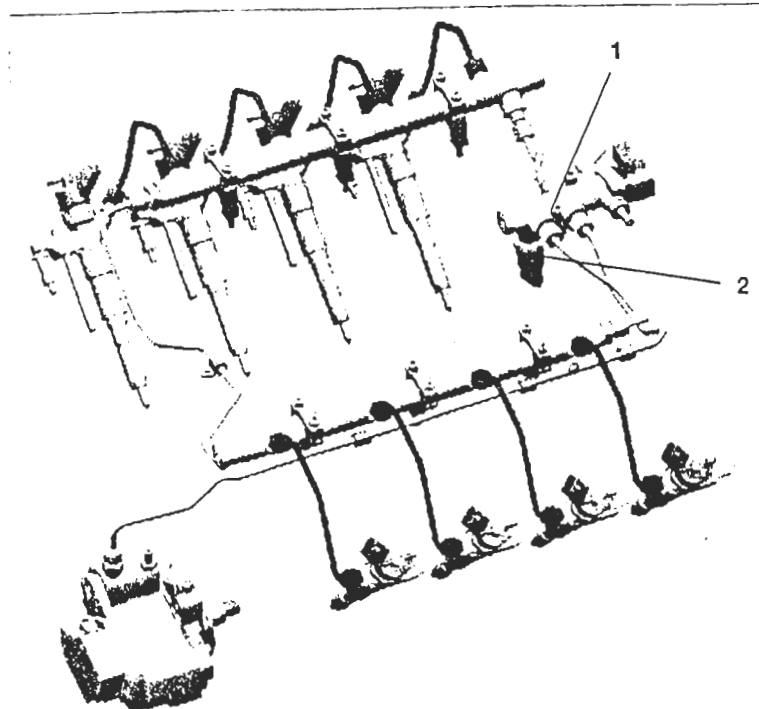
4.10 Датчик давления в рэйле

Датчик давления в рэйле в двигателе M57 ввинчен в конец рэйла, а в двигателе M67, соответственно, в блок распределителя вертикально снизу.



1 - датчик давления в рэйле

Рис. 14: система Common Rail - датчик давления в рэйле M57



1 - блок распределителя
2 - датчик давления в рэйле, здесь не виден, т.к. находится над редукционным клапаном

Рис. 15: система Common Rail - датчик давления в рэйле M67

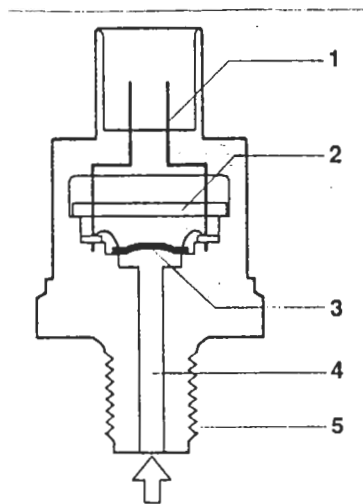
Задача

Датчик давления в рэйле должен измерять текущее давление в рэйле

- с достаточной точностью,
- в соответственно короткие интервалы,

и передавать сигнал в виде соответствующего давлению напряжения в контроллер.

Устройство



1 - электрические контакты
2 - схема обработки измерений
3 - мембрана с чувствительным элементом

4 - стык с рэйлом
5 - резьба крепления

Рис. 16: датчик давления в рэйле - разрез

Датчик давления в рэйле состоит из следующих деталей:

- интегрированным чувствительным элементом,
- печатной платы со схемой обработки измерений,
- корпуса датчика с электрическим штекерным контактом.

Топливо через стык с рэйлом попадает на чувствительную мембрану. На этой мембране находится чувствительный элемент (полупроводниковый), который служит для преобразования деформации, вызванной давлением, в электрический сигнал. Оттуда выработанный сигнал попадает в схему обработки измерений, которая через электрический контакт передаёт готовый сигнал измерения в контроллер.

Принцип действия

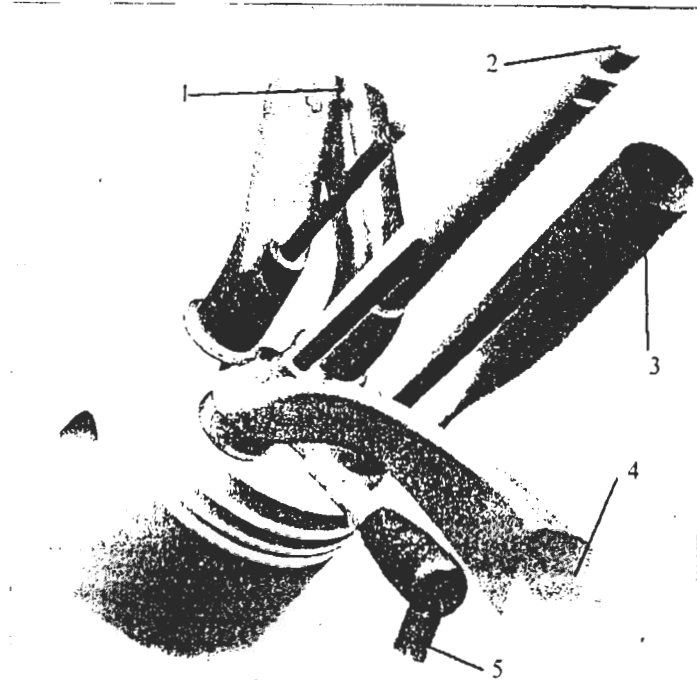
Датчик давления в рэйле работает по следующему принципу:

Электрическое сопротивление мембраны меняется когда меняется её форма. Эта, вызванная воздействием системного давления деформация (ок. 1 мм при 500 бар), в свою очередь вызывает изменение электрического сопротивления и, как следствие, изменение напряжения в питаемом 5 вольтами мосту сопротивления.

Это напряжение составляет от 0 до 70 мВ (в соответствии с воздействующим давлением) и усиливается схемой обработки измерений до значения от 0,5 до 4,5 Вольт. Точное измерение давления обязательно для функционирования системы. По этой причине допустимые отклонения для датчика при измерении давления очень малы. Точность измерений в основном режиме работы составляет ок. 30 бар, т.е. ок. $\pm 2\%$ от конечной величины. При сбое датчика давления в рэйле, контроллер управляет редукционным клапаном при помощи аварийной функции.

4.11 Инжектор

Инжекторы расположены в головке блока цилиндров, центрально над камерами сгорания.



1 - выпускные каналы
2 - инжектор
3 - вихревой канал (впуск)

4 - тангенциальный канал (впуск)
5 - штифт свечи накапливания

Рис. 17: расположение инжектора относительно камеры сгорания - вид M57

Инжекторы крепятся к головке блока цилиндров с помощью прижимных скоб, что похоже на способ крепления корпусов форсунок в дизелях с непосредственным впрыскиванием топлива. Таким образом Common Rail - инжекторы могут быть установлены в имеющиеся DI - дизеля без существенных изменений конструкции головки блока цилиндров.

Это значит, что инжекторы заменяют собой форсуночные пары (корпус форсунки - распылитель) обыкновенных систем впрыскивания топлива.

Задача

Задача инжектора состоит в точной установке начала впрыскивания и количества впрыскиваемого топлива.

Игла форсунки имеет простую направляющую, чтобы принципиально избежать риска трения и задираания иглы. Одновременно применяется новая посадочная геометрия с обозначением ZHI (цилиндрическое основание, калиброванная часть, инверсная разность посадочных углов), см. нижеследующую иллюстрацию. Таким образом, вследствие выравнивания давления на калиброванной части, достигается симметричная картина впрыскивания. Кроме того, при такой посадочной геометрии отсутствует склонность к увеличению количества впрыскиваемого топлива вследствие износа.

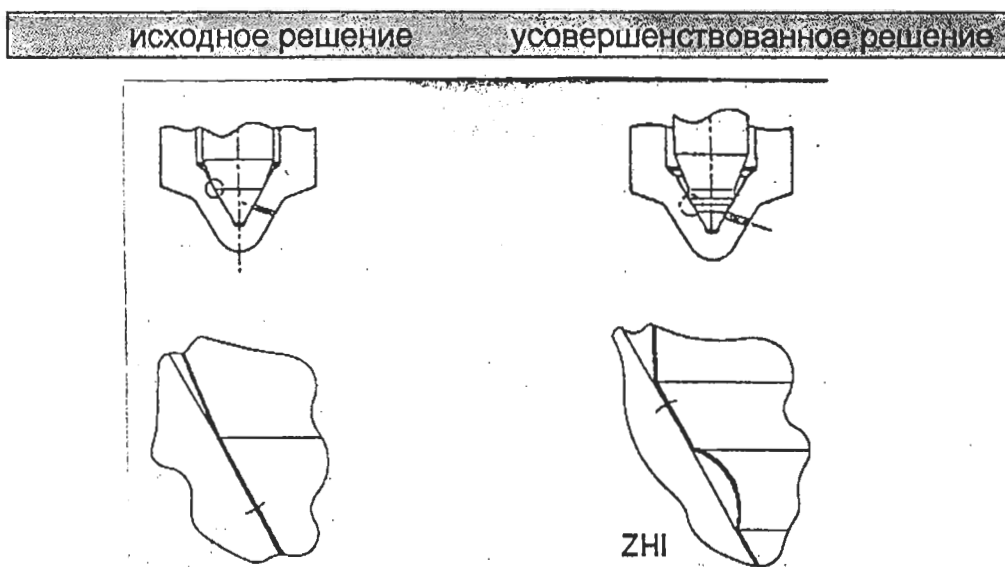


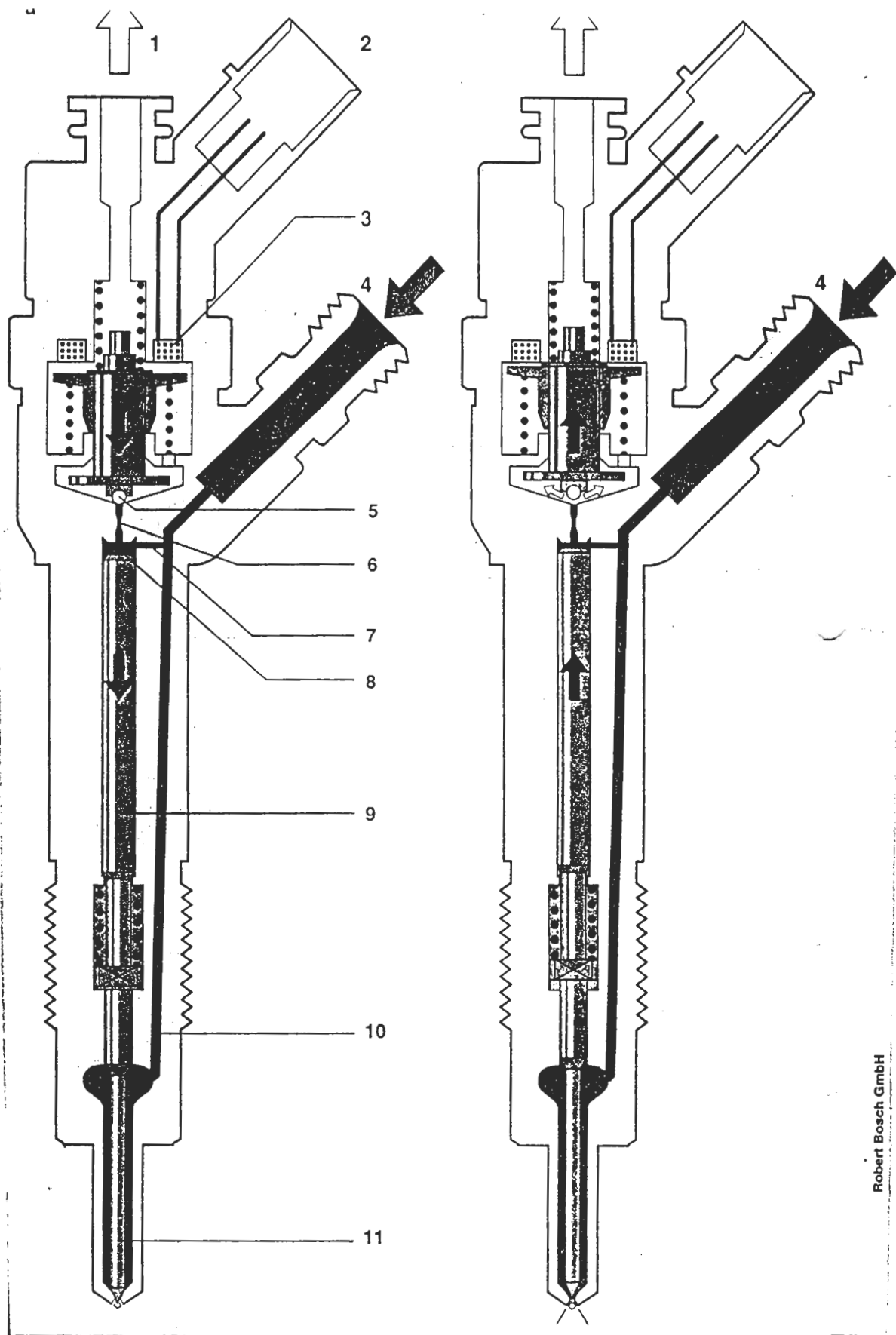
Рис. 18: инжектор с усовершенствованной посадочной геометрией (ZHI = цилиндрическое основание, калиброванная часть, инверсная разность посадочных углов)

Устройство

Инжектор можно разделить на различные функциональные блоки:

- бесштифтовый распылитель форсунки с иглой,
- гидравлический привод с усилителем,
- магнитный клапан,
- места стыковки и топливопровода.

Топливо через впускной патрубок высокого давления (4) и канал (10) направляется к распылителю, а через впускной дроссель (7) в камеру управления (8).



а) инжектор закрыт (состояние покоя)
 б) инжектор открыт (выскакивание)

- 1 - возврат топлива
- 2 - электрический контакт
- 3 - управляемый узел (2/2 - магнитный клапан)
- 4 - впускной патрубок, давление из рейла
- 5 - шарик клапана
- 6 - выпускной дроссель

- 7 - впускной дроссель
- 8 - камера управления клапана
- 9 - управляющий плунжер
- 10 - впускной канал к распылителю
- 11 - игла распылителя форсунки

Рис. 19: инжектор - разрез

Камера управления через выпускной дроссель (6), открываемый магнитным клапаном, связана с возвратом топлива (1). В закрытом состоянии выпускного дросселя гидравлический напор на управляющий плунжер (9) превышает напор на ступень давления иглы распылителя (11). Вследствие этого игла распылителя вдавливаются в своё седло и герметично запирает канал высокого давления относительно цилиндра. Топливо не может попасть в камеру сгорания, хотя всё это время оно уже находится под необходимым давлением во впускном отсеке.

При подаче пускового сигнала на управляемый узел инжектора (2/2 - магнитный клапан), выпускной дроссель открывается. Вследствие этого давление в камере управления, а вместе с ним и гидравлический напор на управляющий плунжер падают.

Как только гидравлический напор на ступень давления иглы распылителя превысит напор на управляющий плунжер, игла открывает отверстие распылителя и топливо попадает в камеру сгорания.

Такое не прямое управление иглой распылителя через гидравлическую систему усиления, применяется по той причине, что необходимая для быстрого открывания иглой отверстия распылителя сила не может быть развита магнитным клапаном напрямую. Необходимая для этого процесса дополнительная к впрыскиваемому топливу, т.н. усилительная порция топлива, через выпускной дроссель камеры управления попадает в возвратный топливопровод.

Дополнительно к усилительной порции топлива происходит утечка топлива на игле распылителя и в направляющей плунжера (дренажное топливо).

Усилительное и дренажное топливо могут составлять до 50 мм^3 за один ход. Это топливо возвращается в топливный бак через возвратный топливопровод, к которому также подсоединены перепускной и редукционный клапана и насос высокого давления.

Принцип действия

Работу инжектора при работающем двигателе и качающем насосе высокого давления можно подразделить на четыре рабочих состояния:

- инжектор закрыт (при воздействующем давлении топлива)
- инжектор открывается (начало впрыскивания),
- инжектор открыт полностью,
- инжектор закрывается (окончание впрыскивания).

Эти рабочие состояния определяются распределением сил, воздействующих на конструктивные элементы инжектора. На неработающем двигателе и при отсутствии давления в рэйле, инжектор закрывается при помощи пружины иглы.

Инжектор закрыт (состояние покоя).

2/2 - магнитный клапан в состоянии покоя инжектора обесточен и поэтому закрыт (см. рис. инжектор - разрез, а).

Поскольку выпускной дроссель закрыт, шарик якоря прижат к своему седлу на этом дросселе усилием пружины клапана. В управляющую камеру клапана нагнетается давление рэйла. Такое же давление создаётся в камере распылителя. Усилием давления рэйла на плунжер и пружины на иглу, противодействующих давлению рэйла на ступень давления иглы, она удерживается в закрытом положении.

Инжектор открывается (начало впрыскивания).

Инжектор находится в состоянии покоя. На магнитный 2/2 - клапан подаётся втягивающий ток ($I = 20$ ампер), что вызывает его быстрое открывание. Теперь втягивающая сила клапана превышает силу пружины клапана, и якорь открывает выпускной дроссель. Через максимально 450 мс повышенный втягивающий ток ($I = 20$ ампер) понижается до более низкого удерживающего тока ($I = 12$ ампер). Это становится возможным благодаря уменьшению воздушного зазора в магнитном контуре.

При открытом выпускном дросселе топливо из камеры управления может поступать в соседнюю камеру, а затем через возвратный топливопровод в бак. Впускной дроссель при этом предотвращает полное уравнивание давлений и давление в управляющей камере падает. Вследствие этого давление в камере распылителя, до сих пор равное давлению в рэйле, превышает давление в камере управления. Понижение давления в камере управления уменьшает усилие на плунжер и

приводит к открыванию иглы распылителя. Начинается впрыскивание.

Скорость открывания иглы распылителя определяется разностью протока впускного и выпускного дросселей. После хода примерно в 200 мкм, плунжер достигает своего верхнего упора и там задерживается на буферном слое топлива. Этот слой возникает вследствие потока топлива между впускным и выпускным дросселями. В этот момент инжектор открыт полностью и топливо впрыскивается в камеру сгорания с давлением, примерно равным давлению в рэйле.

Инжектор закрывается (окончание впрыскивания).

Когда подача тока на 2/2 - магнитный клапан прекращается, якорь усилием пружины клапана перемещается вниз и шариком закрывает выпускной дроссель. Чтобы предотвратить чрезмерный износ седла клапана шариком, якорь выполнен из двух частей. Толкатель пружины клапана при этом продолжает выжимать пластину якоря вниз, но она уже не давит на якорь с шариком, а погружается в пружину обратного действия. Закрытием выпускного дросселя через впускной дроссель в управляющей камере снова начинает создаваться давление, равное давлению в рэйле. Повышение давления усиливает воздействие на плунжер. Суммарное усилие давления в управляющей камере и пружины иглы распылителя превышает силу давления в камере распылителя и игла закрывает отверстие распылителя. Скорость закрытия иглы определяется протоком впускного дросселя. Процесс впрыскивания заканчивается, когда игла распылителя достигает своего нижнего упора.

4.12 Подогрев / охлаждение топлива (воздушный теплообменник)

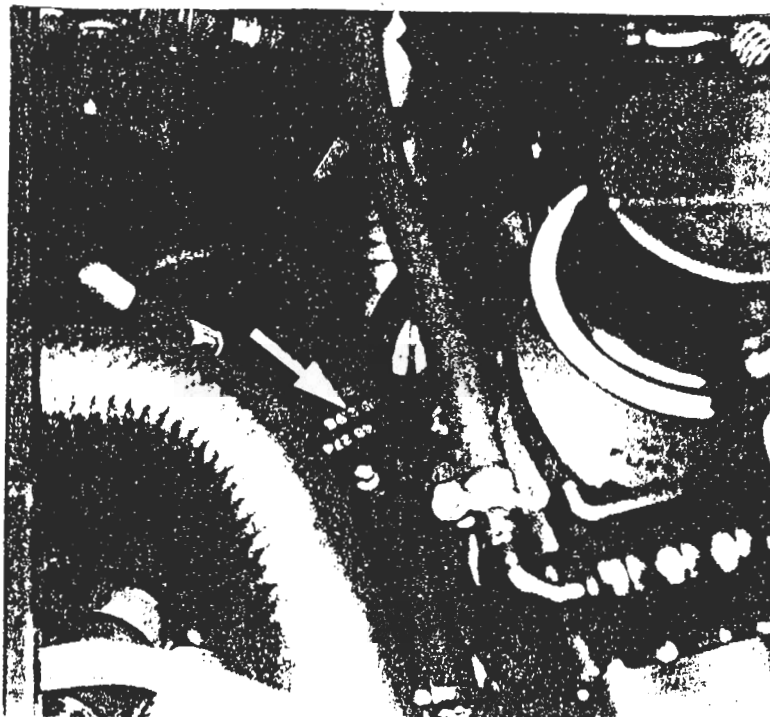


Рис. 20: биметаллический клапан

Биметаллический клапан теперь устанавливается внешне, т.е. он уже не расположен непосредственно на фильтре. Горячее топливо в режиме подогрева возвращается к распределительному патрубку и оттуда поступает в топливный фильтр.

Принцип действия подогрева топлива

Подогрев топлива регулируется при помощи терморегулятора (биметаллического клапана).

Принцип действия аналогичен М47.

Различия с М47 (точки переключения)

При температуре возвращаемого топлива $\geq 73^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3^{\circ}\text{C}$), 100% его возвращаются в бак через охладитель топлива.

При температуре возвращаемого топлива $\leq 63^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3^{\circ}\text{C}$), от 60% до 80 % топлива поступают напрямик к фильтру, остальное через охладитель в бак.

Принцип действия охлаждения топлива

Когда биметаллический клапан отпирает возвратный топливопровод, топливо протекает через охладитель.

Этот охладитель посредством собственного воздуховода снабжается прохладным наружным воздухом и таким образом забирает тепло у топлива.

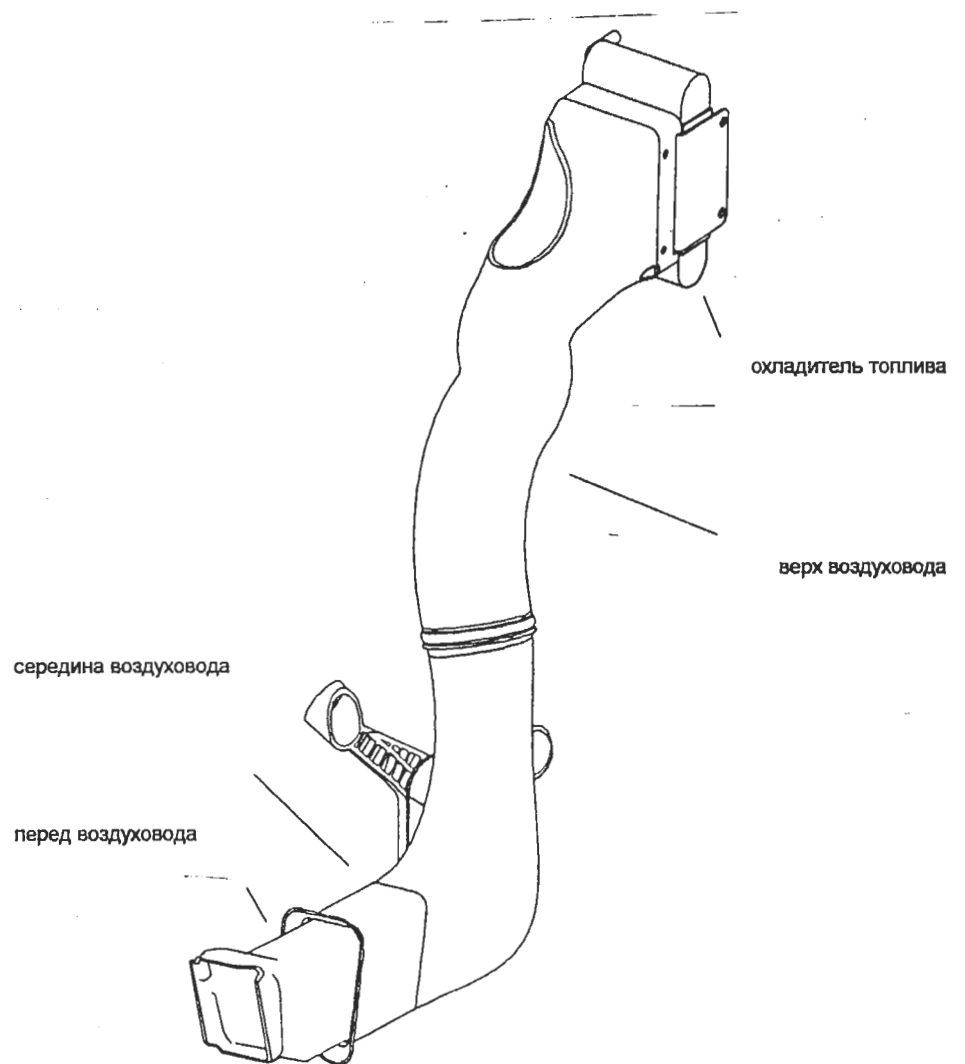
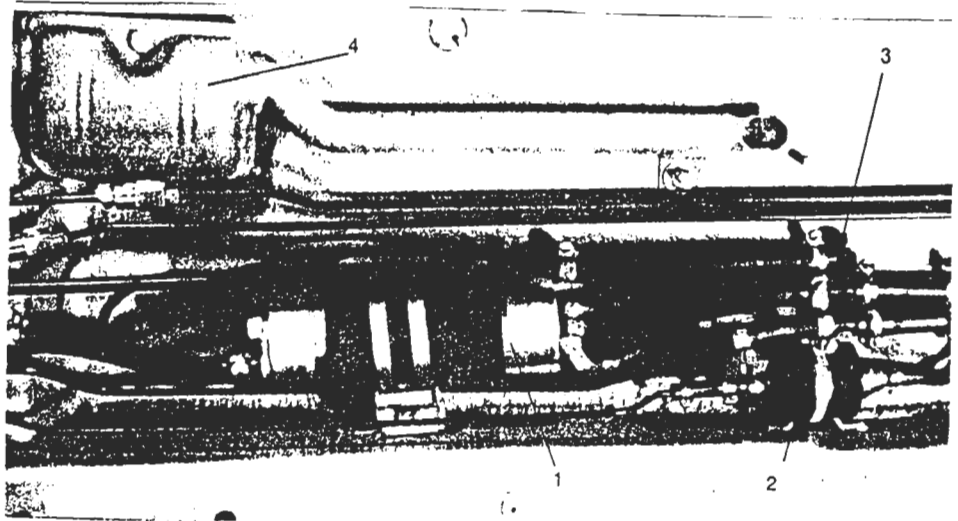


Рис. 21: воздуховод охлаждения топлива (воздушный теплообменник - E38 M57)

4.13 Распределительный патрубок с дросселем

Распределительный патрубок расположен в области днища автомобиля на левой стороне, за дополнительным топливopодкачивающим насосом.



- 1 - дополнительный топливopодкачивающий насос ("инлайн" - насос)
- 2 - обогреватель топливного насоса или соответственно стояночное отопление
- 3 - распределительный патрубок (с дросселем)
- 4 - выхлопная система стояночного отопление

Рис. 22: распределительный патрубок - E38 M57

В зависимости от модели двигателя используется 2 разных вида распределительных патрубков:

- 5 - кратный распределительный патрубок с дросселем (M57),
- H - образный патрубок с дросселем (M67).

Задача

Задачей 5 - кратного распределительного патрубка является предоставление топлива из возвратного топливопровода при пониженном давлении перед электрическим топливным "инлайн" - насосом (ЕКР).

Для этого напрямую соединяются возвратный топливопровод и впускная сторона. Таким образом часть возвращаемого топлива подмешивается к топливу, поступающему к ТНВД.

5. Обзор систем впрыскивания

5.1 Системы впрыскивания

Каждая из трёх технически конкурирующих друг с другом систем впрыскивания, система с распределительным топливным насосом высокого давления, система насос - форсунка и система Common Rail, имеет свои специфические преимущества по разным показателям. Превосходной по всем показателям системы впрыскивания на сегодняшний день ещё не существует.

система впрыскивания критерии	радиально - плунжерный распределительный ТНВД	насос - форсунка	Common Rail
давление впрыскивания	1800 бар	< 2000 бар	1350 бар
диапазон регулирования начала впрыскивания	20° к.в. (4 цили.) 15° к.в. (6 цили.)	< 20° к.в.	любой
характеристика впрыскивания	ступенчатый эксцентрик предварительное впрыскивание	предварительное впрыскивание	многократное впрыскивание
влияние на конструкцию двигателя	мало	велико	мало

Таблица: имеющиеся системы впрыскивания

5.2 Обычный характер впрыскивания

В обычных системах впрыскивания, таких как рядных и распределительных топливных насосах высокого давления, впрыскивание происходит исключительно в виде основного впрыскивания. Исключением является VP44 - распределительный ТНВД с магнитными клапанами.

В обычных системах впрыскивания нагнетание давления и выделение впрыскиваемого топлива связаны. Это оказывает следующее воздействие на характер впрыскивания:

- давление впрыскивания растёт с возрастанием частоты вращения и количеством впрыскиваемого топлива,
- во время впрыскивания давление впрыскивания возрастает.

Отсюда получается:

- малые порции впрыскиваемого топлива впрыскиваются с небольшим давлением,
- пиковое давление более чем в два раза превышает среднее давление впрыскивания.

Для нагрузки узлов топливного насоса высокого давления и его привода определяющим является пиковое давление. Для качества смесеобразования же, определяющим является среднее давление впрыскивания.

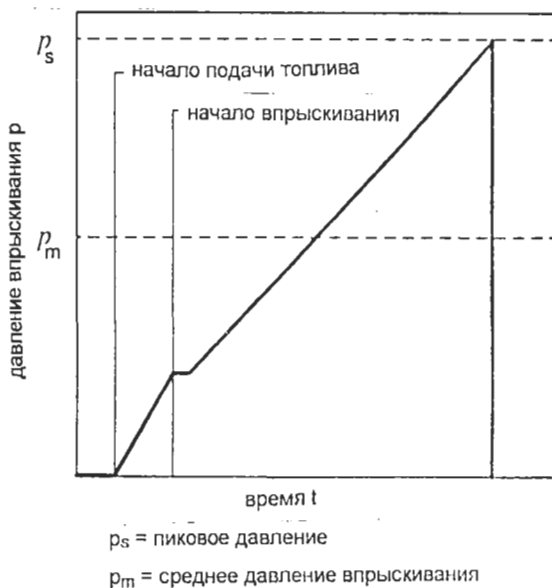


Рис. 23: характеристика впрыскивания при обычном впрыскивании

5.3 Характер впрыскивания Common Rail

Для идеального характера впрыскивания в отличие от обычного должны выполняться следующие требования:

- возможность определения давления впрыскивания и количества впрыскиваемого топлива для каждого режима работы двигателя независимо друг от друга (дополнительная степень свободы для идеального смесеобразования),
- возможность свободного выбора давления впрыскивания после начала впрыскивания,
- как можно меньшее давление впрыскивания и количество впрыскиваемого топлива на начальном этапе впрыскивания (во время задержки самовоспламенения, между началом впрыскивания и началом сгорания).

В накопительной системе впрыскивания Common Rail с предварительным и основным впрыскиванием, эти требования реализуются.

Жёсткость сгорания также значительно влияет на шумовую и вибрационную характеристики. Поэтому особое значение имеет целенаправленное формирование процесса впрыскивания.

Такое воздействие на сжигание топлива в двигателе в системе Common Rail предпочтительно осуществляется предварительным впрыскиванием, делающим возможным бездетонационное сгорание при низком уровне шумов (см. рис.).

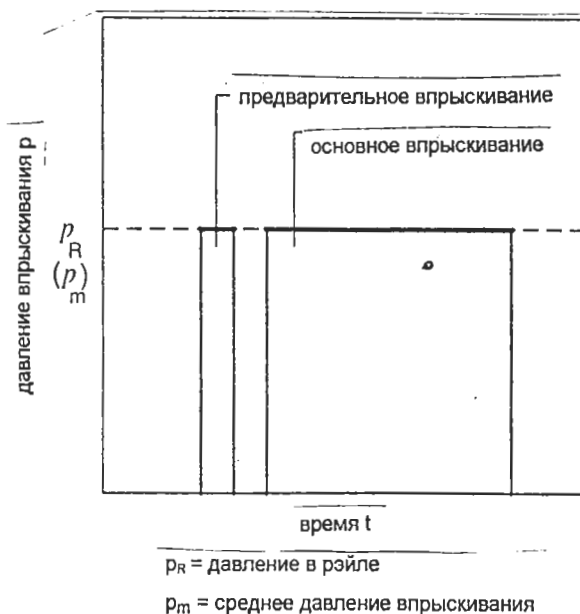


Рис. 24: характеристика впрыскивания с системой Common Rail

Помимо этого дальнейшие активные и пассивные акустические меры помогли значительно улучшить показатели акустической мощности даже по сравнению с хорошими IDI - двигателями,

например смещение оси поршневого пальца от середины поршня к стороне противодействия.

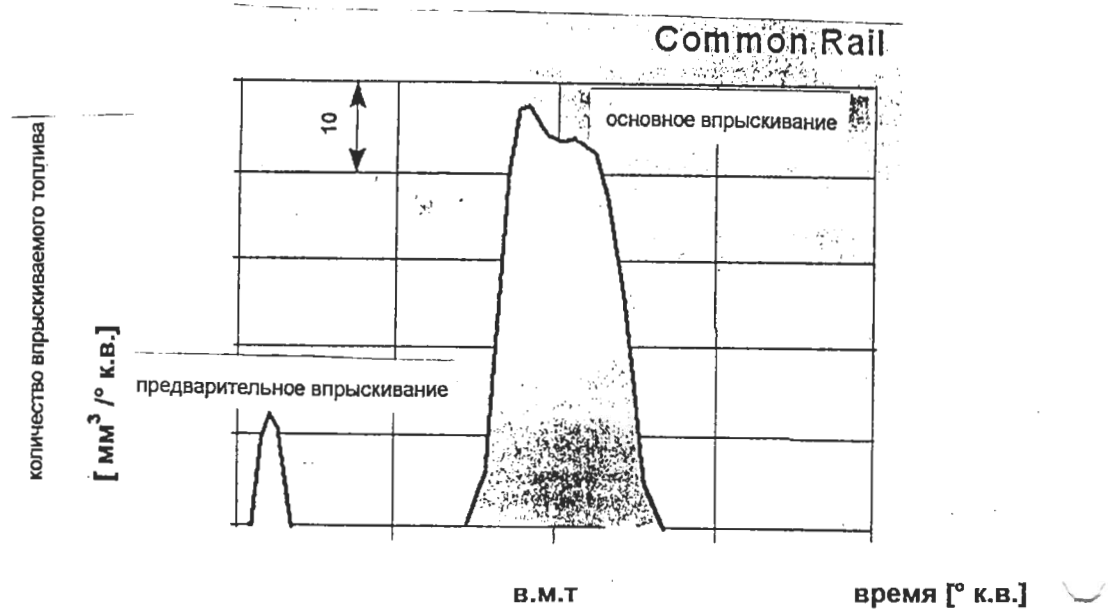


Рис. 25: характеристика предварительного и основного впрыскивания в Common Rail

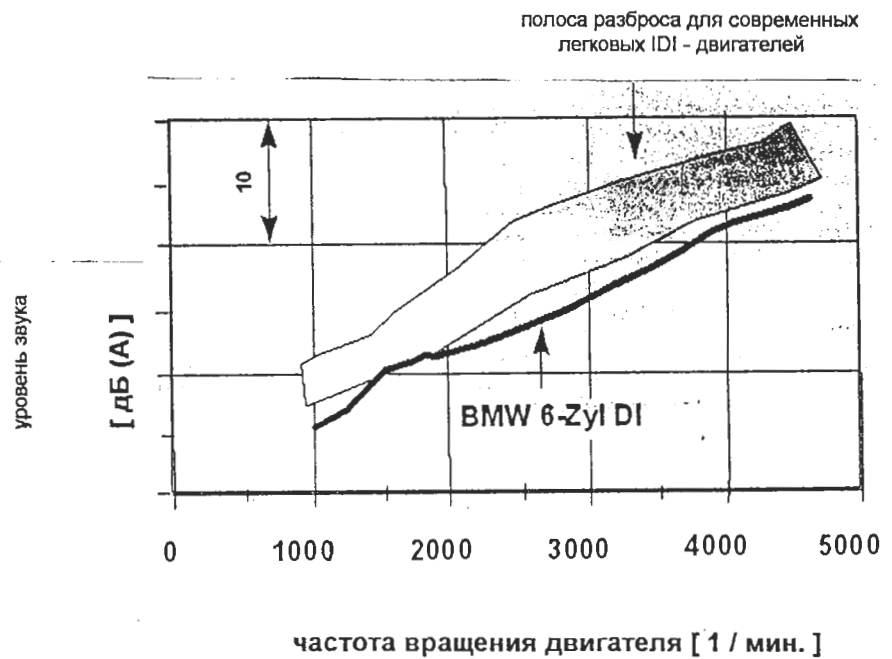


Рис. 26: шумообразование в зависимости от частоты вращения двигателя

Система Common Rail имеет модульное построение. За характеристику впрыскивания в первую очередь отвечают следующие компоненты:

- управляемые магнитными клапанами инжекторы, установленные в головке блока цилиндров,

- аккумулятор давления (Rail),
- топливный насос высокого давления

Во вторую очередь значение имеют следующие компоненты:

- электронный контроллер (DDE),
- датчик оборотов коленчатого вала,
- датчик оборотов распределительного вала.

5.4 Распределительное впрыскивание (радиально - поршневой принцип)

- центральный поршневой насос, связанный с форсункой через соединительный топливопровод,
- количественная дозировка посредством магнитного клапана (индивидуально для каждого цилиндра),
- прямое управление иглой распылителя.

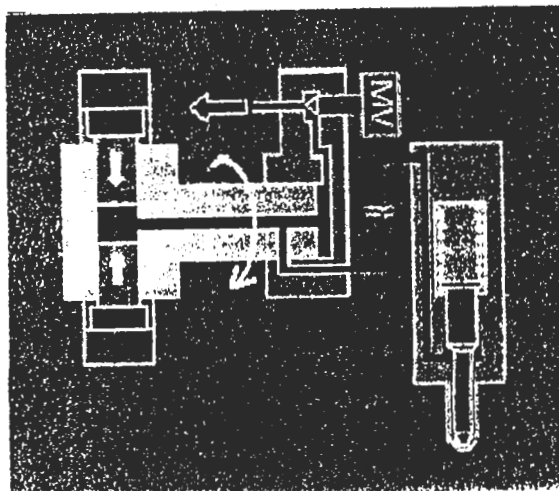


Рис. 27: радиально - поршневой принцип

Система впрыскивания с распределительным насосом также как и система насос - форсунка из-за высокого достижимого давления впрыскивания и прямого управления иглой распылителя при открывании и закрытии, имеет свои преимущества. Таким способом реализуются высокие удельные мощности при хороших показателях выхлопных газов. Высокая удельная мощность обеспечивает высокую конечную мощность, в особенности у малолитражных четырёхцилиндровых двигателей.

5.5 Насос - форсунка

- децентрализованный поршневой насос с форсункой в одной конструктивной единице,
- количественная дозировка при помощи золотникового устройства или магнитного клапана,
- привод через кулачковый вал со стороны двигателя,
- прямое управление иглой распылителя.

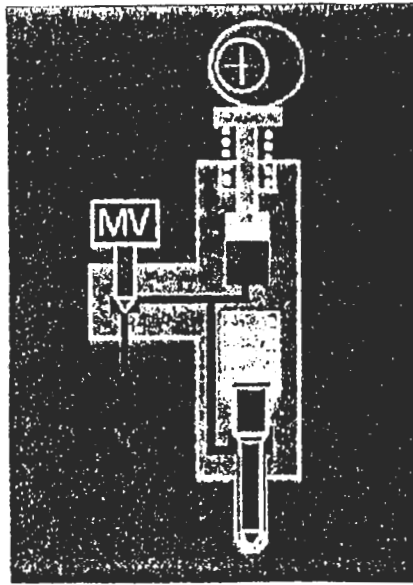


Рис. 28: насос - форсунка

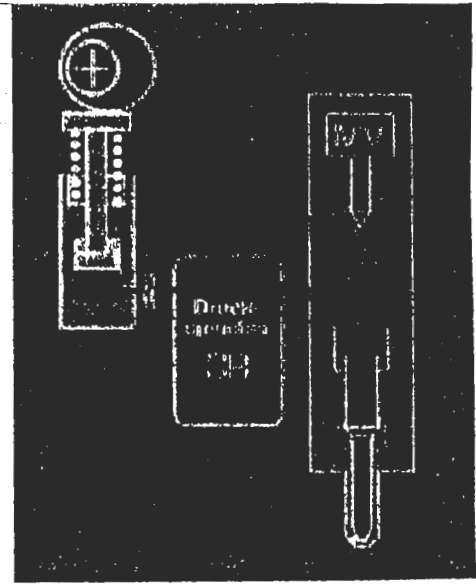


Рис. 29: Common Rail

5.6 Common Rail

Системы Common Rail (с непрямым управлением иглой распылителя) напротив, дают наибольшую гибкость в регулировании начала и формировании процесса впрыскивания.

- центральный поршневой насос, связанный с форсункой через аккумулятор,
- количественная дозировка при помощи управляемых электроникой клапанов, установленных прямо на форсунке,
- привод топливного насоса высокого давления (без угловой синхронности с двигателем),
- не прямое управление иглой распылителя.

Шести - и восьмицилиндровые двигатели с большими рабочими объемами не особо зависят от высокой удельной мощности. С другой стороны, в системах с распределительным насосом, потребность в регулировании начала впрыскивания из-за большой длины топливопроводов, не может быть покрыта вовсе, либо только частично. Кроме того, из-за повышенного требования к комфортности таких двигателей, на передний план выходит потребность в формировании процесса впрыскивания.

5.7 Обобщение по системе Common Rail

- Давление и начало впрыскивания регулируются в широких пределах, независимо от рабочей точки двигателя,
- пониженное дымление благодаря высокому давлению впрыскивания до 1350 бар,
- понижение шумов и токсичности выхлопных газов благодаря предварительному впрыскиванию,
- создание давления радиально - поршневым насосом,
- регулирование давления редукционным клапаном
- непрерывное измерение давления в рэйле датчиком, закрытый контур регулирования,
- инжектор с 2/2 - магнитным клапаном.

Подача топлива под низким давлением

При помощи топливоподающего насоса, через электрический топливный "инлайн" - насос (ЕКР) и топливный фильтр, топливо подаётся к насосу высокого давления.

Подача топлива под высоким давлением

Топливный насос высокого давления сдвигает топливо до системного давления в 1350 бар. Сжатое топливо через редукционный клапан топливопровод высокого давления попадает в трубчатый топливный аккумулятор высокого давления (Rail).

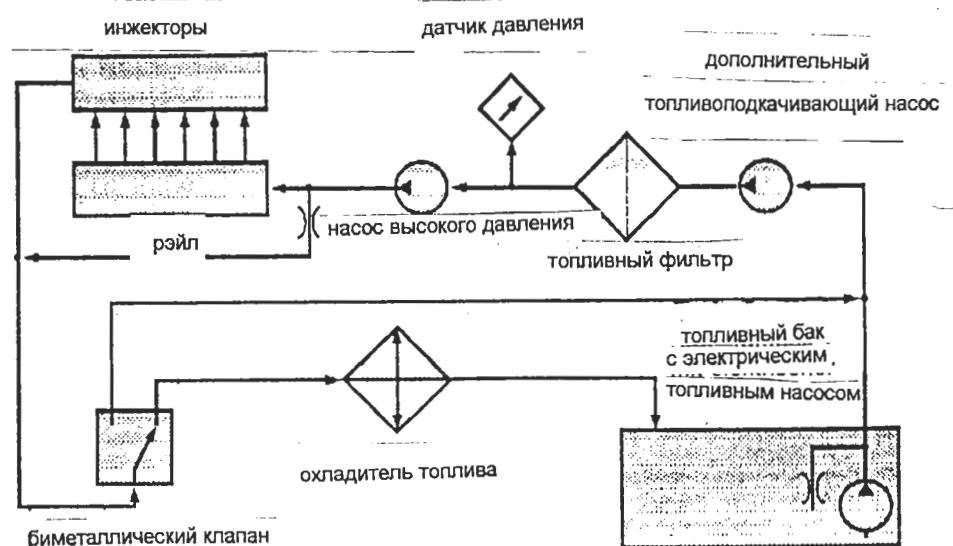


Рис. 30: схематическое изображение системы питания (CR)