

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра "Тракторы, автомобили  
и энергетические установки"**

# **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

**К лабораторной работе №26**

**АККУМУЛЯТОРНЫЕ СИСТЕМЫ (COMMON RAIL)  
ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

(Для студентов ИМ и ТС)

**Курс: КОНСТРУКЦИЯ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ**

**Раздел: КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО  
СГОРАНИЯ**

КАЗАНЬ – 2020

УДК 629. 3+629.33  
ББК 22.317

Составители: К.А.Хафизов, профессор кафедры «Тракторы, автомобили и энергетические установки»;  
Р.Н.Хафизов, доцент кафедры «Тракторы, автомобили и энергетические установки»;  
А.А.Нурмиев, ст. преподаватель кафедры «Тракторы, автомобили и энергетические установки»;  
С.А. Сеницкий, доцент кафедры «Тракторы, автомобили и энергетические установки».

Рецензенты: профессор кафедры автомобильных двигателей и сервиса КГТУ-КАИ, д.т.н. Абдуллин А.Л.;  
профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин КазГАУ, д.т.н. И.Г.Галиев.

Печатается по решению методической комиссии ИМ и ТС (протокол №7 от 29.03.2020 г), кафедры тракторы, автомобили и энергетические установки (протокол №6 от 6.02.2020 г.).

Аккумуляторные системы (Common Rail) питания дизельных двигателей: Учебно - методическое пособие для выполнения лабораторных и самостоятельных работ студентами очного и заочного обучения направления подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» / К.А.Хафизов, Р.Н.Хафизов, А.А.Нурмиев, С.А.Сеницкий. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2020. – 40 с.

Учебно - методическое пособие для выполнения лабораторных и самостоятельных работ студентами очного и заочного обучения направления подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», способствует формированию общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций. Содержат сведения для выполнения лабораторных работ по конструкции двигателей автомобилей и тракторов, а также задания для самостоятельной работы.

УДК 629. 3+629.33  
ББК 22.317

© Казанский государственный аграрный университет, 2020 г.  
© К.А.Хафизов, Р.Н.Хафизов, А.А.Нурмиев, С.А. Сеницкий.

## СОДЕРЖАНИЕ

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | <b>МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ</b> .....   | 4  |
| 2.    | <b>АККУМУЛЯТОРНЫЕ СИСТЕМЫ (COMMON RAIL)<br/>ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ</b> ..... | 5  |
| 2.1   | Обзор систем впрыска .....   | 5  |
| 2.2   | Типы конструкций .....   | 8  |
| 2.3   | Система Common Rail.....   | 14 |
| 2.4   | Агрегаты контура высокого давления системы Common Rail .....                       | 25 |
| 2.4.1 | Топливный насос высокого давления .....  | 25 |
| 2.4.2 | Клапан регулирования давления .....  | 30 |
| 2.4.3 | Аккумулятор высокого давления (Rail) .....   | 31 |
| 2.4.4 | Клапан ограничения давления .....  | 32 |
| 2.4.5 | Ограничитель расхода топлива.....  | 33 |
| 2.4.6 | Форсунка .....   | 36 |

## 1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

**Тема:** Аккумуляторные системы (Common Rail) питания дизельных двигателей.

**Цель работы:** Изучить общее устройство и работу агрегатов системы питания Common Rail для подачи топлива и воздуха.

**Оборудование:** Плакаты, разрезы агрегатов системы питания Common Rail.

**Порядок изучения:** Пользуясь методическим пособием, разрезами агрегатов, плакатами, альбомами разобраться, как устроены и работают агрегаты системы Common Rail (насосы низкого и высокого давления, рампа, форсунки, турбокомпрессор и др. агрегаты).

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие это системы впрыска – CW, PF, CR, UIS, VE, UPS, VR.
2. Каково главное преимущество аккумуляторной системы питания Common Rail.
3. Какие контуры включает в себя аккумуляторная система Common Rail.
4. Перечислить агрегаты контура высокого давления системы Common Rail.
5. Рассказать как устроен и работает ТНВД.
6. Как происходит отключение плунжерной секции насоса.
7. Как поддерживается давление в топливной рампе, какова его величина.
8. Как устроен и работает клапан регулирования давления ТНВД.
9. Как устроен и работает ограничитель расхода топлива в системе Common Rail.
10. Как обеспечиваются момент начала впрыскивания и величина подачи топлива в системе питания Common Rail.
11. Как обеспечивается многократный впрыск топлива.

### **Самостоятельная работа:**

Задание приведено в тетради для самостоятельной работы.

## 2 АККУМУЛЯТОРНЫЕ СИСТЕМЫ (COMMON RAIL) ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

### 2.1 Обзор систем впрыска

Дизельные двигатели отличаются высокой экономичностью. Начиная с момента создания первого серийного ТНВД фирмы Bosh 1927 г., системы впрыска постоянно совершенствуются.

Дизели выпускаются в различных модификациях (рис. 1 и табл. 1), в числе которых:

- силовые агрегаты для мобильных дизель-генераторов (до 10 кВт/цилиндр);
- быстроходные дизели для легковых и легких грузовых автомобилей (до 50 кВт/цилиндр);
- дизели для строительных, сельскохозяйственных и лесотехнических машин (до 50 кВт/цилиндр);
- дизели для тяжелых грузовых автомобилей, автобусов и тягачей (до 80 кВт /цилиндр);
- стационарные дизели, например для аварийных систем электро-снабжения (до 160 кВт/цилиндр);
- дизели для тепловозов и судов (до 1000 кВт/цилиндр).

### Требования

Большие ограничения по уровню эмиссии ОГ и уровню шума работы, наряду с обеспечением более низкого расхода топлива, постоянно формируют новые требования к системе впрыска дизельных питателей.

Принципиально система впрыска должна обеспечивать хорошее смесеобразование в соответствии с заданным процессом сгорания топлива (непосредственный впрыск или разделенные камеры сгорания) и работу с высоким давлением (в настоящее время — от 350 до 2050 бар( $\approx$ кг/см<sup>2</sup>)) в камере сгорания дизеля, а также дозировать при этом подачу топлива с максимальной точностью. Регулирование нагрузки и частоты вращения коленчатого вала дизеля производится изменением величины цикловой подачи топлива без дросселирования подаваемого воздуха.

Механические регуляторы частоты вращения коленчатого вала в системах впрыска для дизелей все более вытесняются электронными системами регулирования. Новые дизели легковых и грузовых автомобилей комплектуются исключительно такими системами.

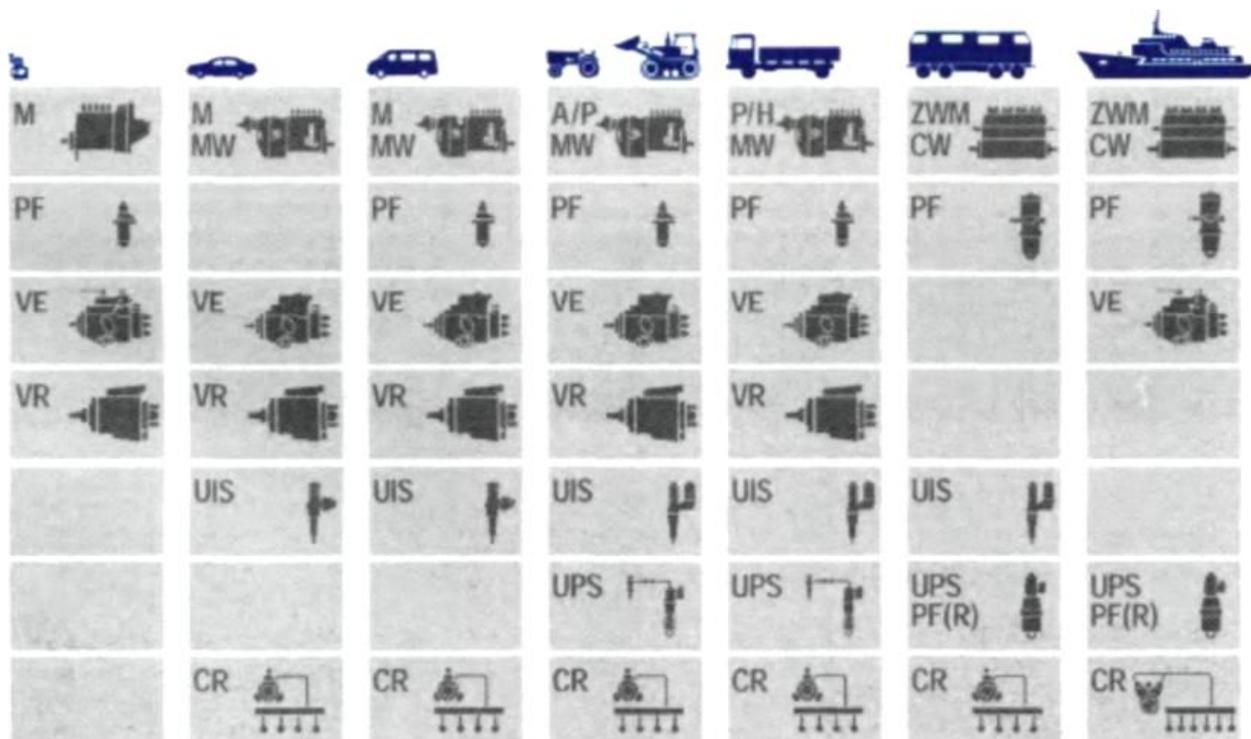


Рисунок 1– **Области применения систем впрыска дизельного топлива, созданных фирмой Bosch M, MW, A, P, H, ZWM:**

**CW** - рядные ТНВД, различающиеся размерами и производительностью;

**PF** - система индивидуальных механических ТНВД;

**VE** - распределительные ТНВД с аксиальным движением плунжера;

**VR** - распределительные ТНВД с радиальным движением плунжеров;

**UIS** - система насос форсунок;

**UPS** - система индивидуальных ТНВД с электромагнитным клапаном;

**CR** - аккумуляторная система Common Rail

Таблица 1– **Свойства и характеристики важнейших дизельных систем впрыска**

- 1) Двигатели для стационарных агрегатов, строительных и сельскохозяйственных машин.
- 2) Возможно большее число цилиндров при наличии двух блоков управления.
- 2м) 6 цилиндров с момента введения системы управления EDC 16.
- 3) Предварительное впрыскивание до 90° угла поворота коленчатого вала до ВМТ возможно дополнительное впрыскивание.
- 4) До 5500 мин<sup>-1</sup> при эксплуатации,
- 5) Предварительное впрыскивание до 90° угла поворота этого вала до ВМТ. дополнительное впрыскивание до 210° угла поворота коленчатого вала после ВМТ.
- 6) Впрыскивание до 30° угла поворота коленчатого вала до ВМТ, возможно дополнительное впрыскивание
- 7) Электрогидравлическая установка момента впрыскивания с использованием электромагнитного клапана.
- 8) Этот тип ТНВД в новых разработках не используется.

**1** Свойства и характеристики важнейших дизельных систем впрыска

| Система впрыска  | Область применения  | Параметры впрыскивания                |                             | Регулирование   | Параметры двигателя   |                 |  |                            |               |  |
|--|---|---------------------------------------|-----------------------------|---|---|-----------------|--|----------------------------|---------------|--|
| Типоразмер   | P – легковые и легкие грузовые автомобили<br>N – грузовые автомобили и автобусы<br>O – внедорожное применение <sup>1)</sup><br>S – суда и тепловозы | Макс. цикловая подача на ход или цикл | Макс. давление впрыскивания | PI – предварительное впрыскивание<br>PO – дополнительное впрыскивание<br>h – гидравлическое<br>m – механическое<br>em – электромеханическое<br>Mv – электромагнитный клапан | DI – непосредственный впрыск топлива<br>IDI – разделенные камеры сгорания | Число цилиндров | Макс. значение номинальной частоты вращения коленчатого вала | Макс. цилиндровая мощность |               |  |
|  |   | мм <sup>3</sup>                       | bar (0,1 МПа)               |   |   |                 |  |                            |               |  |
| <b>Рядные ТНВД</b>   |   |                                       |                             |   |   |                 |  |                            |               |  |
| M  | P, O  | 60                                    | 550                         | -   | m, em   | IDI             | 4...6  | 5000                       | 20            |  |
| A  | O   | 120                                   | 750                         | -   | m   | DI/IDI          | 2...12   | 2800                       | 27            |  |
| MW <sup>®</sup>  | P, N, O   | 150                                   | 1100                        | -   | m   | DI              | 4...8  | 2600                       | 36            |  |
| P3000  | N, O  | 250                                   | 950                         | -   | m, em   | DI              | 4...12   | 2600                       | 45            |  |
| P7100  | N, O  | 250                                   | 1200                        | -   | m, em   | DI              | 4...12   | 2500                       | 55            |  |
| P8000  | N, O  | 250                                   | 1300                        | -   | m, em   | DI              | 6...12   | 2500                       | 55            |  |
| P8500  | N, O  | 250                                   | 1300                        | -   | m, em   | DI              | 4...12   | 2500                       | 55            |  |
| H1   | N   | 240                                   | 1300                        | -   | em  | DI              | 6...8  | 2400                       | 55            |  |
| H1000  | N   | 250                                   | 1350                        | -   | em  | DI              | 5...8  | 2200                       | 70            |  |
| P10  | S, O  | 800                                   | 1200                        | -   | m, em, h  | DI/IDI          | 6...12   | 2400                       | 140           |  |
| ZW (M)   | S, O  | 900                                   | 950                         | -   | m, em, h  | DI/IDI          | 4...12   | 2400                       | 160           |  |
| P9   | S, O  | 1200                                  | 1200                        | -   | m, em, h  | DI/IDI          | 6...12   | 2000                       | 180           |  |
| CW   | S, O  | 1500                                  | 1000                        | -   | m, em, h  | DI/IDI          | 6...10   | 1800                       | 200           |  |
| <b>Распределительные ТНВД с аксиальным движением плунжера</b>  |   |                                       |                             |   |   |                 |  |                            |               |  |
| VE..F  | P   | 70                                    | 350                         | -   | m   | IDI             | 3...6  | 4800                       | 25            |  |
| VE..F  | P   | 70                                    | 1250                        | -   | m   | DI              | 4...6  | 4400                       | 25            |  |
| VE..F  | N, O  | 125                                   | 800                         | -   | m   | DI              | 4, 6   | 3800                       | 30            |  |
| VP37 (VE..EDC)   | P   | 70                                    | 1250                        | -   | em <sup>7)</sup>  | DI              | 3...6  | 4400                       | 25            |  |
| VP37 (VE..EDC)   | O   | 125                                   | 800                         | -   | em <sup>7)</sup>  | DI              | 4, 6   | 3800                       | 30            |  |
| VP30 (VE..MV)  | P   | 70                                    | 1400                        | PI  | Mv <sup>7)</sup>  | DI              | 4...6  | 4500                       | 25            |  |
| VP30 (VE..MV)  | O   | 125                                   | 800                         | PI  | Mv <sup>7)</sup>  | DI              | 4, 6   | 2600                       | 30            |  |
| <b>Распределительные ТНВД с радиальным движением плунжеров</b> |   |                                       |                             |   |   |                 |  |                            |               |  |
| VP44 (VR)  | P   | 85                                    | 1950                        | PI  | Mv <sup>7)</sup>  | DI              | 4, 6   | 4500                       | 25            |  |
| VP44 (VR)  | N   | 175                                   | 1500                        | -   | Mv <sup>7)</sup>  | DI              | 4, 6   | 3300                       | 50            |  |
| <b>Системы индивидуальных ТНВД и насос-форсунок</b>            |   |                                       |                             |   |   |                 |  |                            |               |  |
| PF(R)...   | O   | 13...<br>120                          | 450...<br>1150              | -   | m, em   | DI/IDI          | любое  | 4000                       | 4...<br>30    |  |
| PF(R).... дизели больших размеров                              | P, N, O, S  | 150...<br>18000                       | 800...<br>1500              | -   | m, em   | DI/IDI          | любое  | 300...<br>2000             | 75...<br>1000 |  |
| UIS P1   | P   | 60                                    | 2050                        | PI  | Mv  | DI              | 5 <sup>2)</sup> 28 <sup>1)</sup>                             | 4800                       | 25            |  |
| UIS 30   | N   | 160                                   | 1600                        | -   | Mv  | DI              | 8 <sup>2)</sup>  | 4000                       | 35            |  |
| UIS 31   | N   | 300                                   | 1600                        | -   | Mv  | DI              | 8 <sup>2)</sup>  | 2400                       | 75            |  |
| UIS 32   | N   | 400                                   | 1800                        | -   | Mv  | DI              | 8 <sup>2)</sup>  | 2400                       | 80            |  |
| UPS 12   | N   | 180                                   | 1600                        | -   | Mv  | DI              | 8 <sup>2)</sup>  | 2400                       | 35            |  |
| UPS 20   | N   | 250                                   | 1800                        | -   | Mv  | DI              | 8 <sup>2)</sup>  | 3000                       | 80            |  |
| UPS (PF..MV)   | S   | 3000                                  | 1600                        | -   | Mv  | DI              | 6...20   | 1000                       | 450           |  |
| <b>Аккумуляторная система Common Rail</b>                      |   |                                       |                             |   |   |                 |  |                            |               |  |
| CR 1-поколение   | P   | 100                                   | 1350                        | PI, PO <sup>®</sup>   | Mv  | DI              | 3...8  | 4800 <sup>4)</sup>         | 30            |  |
| CR 2-поколение   | P   | 100                                   | 1600                        | PI, PO <sup>®</sup>   | Mv  | DI              | 3...8  | 5200                       | 30            |  |
| CR   | N, S  | 400                                   | 1400                        | PI, PO <sup>®</sup>   | Mv  | DI              | 6...16   | 2800                       | 200           |  |

## 2.2 Типы конструкций

Задача системы впрыска для дизелей состоит в том, чтобы подавать топливо под высоким давлением в камеру сгорания цилиндра в нужном количестве и в нужный момент.

Форсунки в зависимости от используемого процесса впрыскивания устанавливаются в основную или дополнительную камеру сгорания. Если форсунки механические, то они открываются при определенной величине давления топлива, единой для всей системы впрыска. Закрытие форсунок происходит при падении давления топлива. Основное различие между системами впрыска состоит в механизме создания высокого давления. Из-за последнего все компоненты системы должны быть прецизионно изготовлены из высокопрочных материалов и точно подогнаны друг к другу.

Реализация концепции электронного регулирования позволяет осуществлять различные дополнительные функции (например, активное демпфирование толчков, регулирование плавности хода и скорости движения автомобиля, а также давления наддува).

### Рядные ТНВД

#### Стандартные рядные ТНВД типа РЕ.

Рядные ТНВД (рисунок 2) комплектуются плунжерными парами, состоящими из плунжера 4 и гильзы 1, по числу цилиндров двигателя.

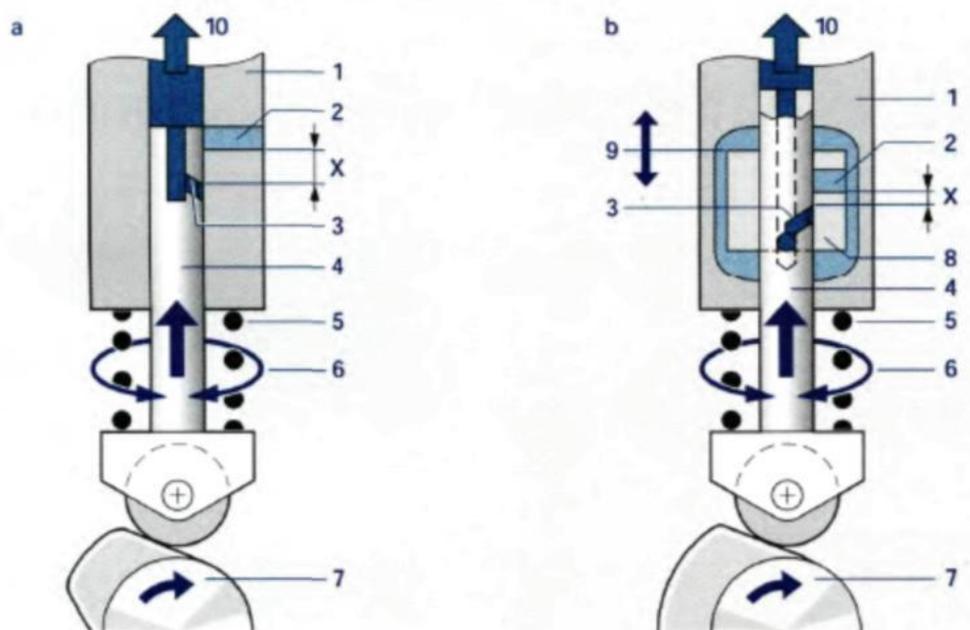


Рисунок 2 – Принцип работы рядного ТНВД

а - рядный ТНВД типа РЕ; в - рядный ТНВД с дополнительной втулкой:

1-гильза плунжера; 2-впускное окно; 3-кромка плунжера; 4-плунжер; 5-возвратная пружина плунжера; 6-траектория поворотов плунжера вокруг оси рейкой (установка цикла вой подачи); 7-кулачковый вал привода плунжеров; 8-дополнительная втулка;

9-изменение хода плунжера до закрытия впускного окна за счет перемещения регулирующей втулки; 10-подача топлива к форсунке; X - активный ход плунжера

Плунжер смещается в направлении подачи (вверх на рисунке 2) встроенным в ТНВД кулачковым валом 7, приводимым от двигателя. Возвратная пружина 5 отжимает плунжер назад. Отдельные секции таких ТНВД располагаются, как правило, в ряд (поэтому насос и носит название рядный).

Когда верхний торец плунжера при движении вверх перекрывает впускное окно 2, давление начинает повышаться. Этот момент называется началом нагнетания. Плунжер продолжает двигаться вверх, создавая избыточное давление, под действием которого подвижная игла в форсунке открывает отверстие распылителя и топливо впрыскивается в камеру сгорания.

Когда регулирующая кромка 3 спиральной канавки плунжера открывает впускное окно, куда топливо через канавку может перетекать обратно, давление сбрасывается. Игла распылителя форсунки перекрывает отверстие, и впрыскивание прекращается.

Ход плунжера между закрытием и открытием впускного окна называется активным ходом (параметр X на рис. 2 и 3). Сложение регулирующей кромки плунжера относительно впускного окна меняется поворотом 6 плунжера вокруг своей оси рейкой ТНВД. Таким образом, изменяется величина активного хода, что позволяет регулировать величину цикловой подачи. Рейка управляется механическим центробежным регулятором или электрическим приводом.

### **Рядные ТНВД с дополнительной втулкой**

Эти топливные насосы отличаются от обычных насосов дополнительной втулкой 8 (рисунок 2б), подвижно размещенной на плунжере. Изменяя ее расположение (и соответственно меняя положение впускного окна) с помощью исполнительного механизма, можно обеспечить «предход» — изменять ход 9 плунжера до закрытия впускного клапана. Этим достигается возможность регулирования момента начала впрыскивания независимо от частоты вращения коленчатой вала, т. е. ТНВД данного типа имеет по сравнению со стандартным рядным насосом серии РЕ дополнительную степень свободы.

### **Распределительные ТНВД**

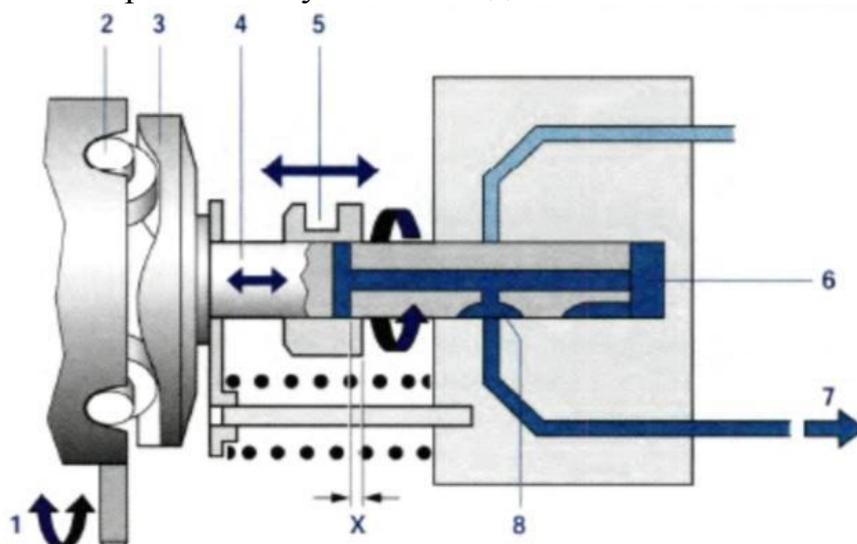
Распределительные ТНВД оснащаются единым нагнетающим элементом высокого давления для всех цилиндров (рисунок 3 и 4).

Шиберный топливоподкачивающий насос нагнетает топливо в камеру 6 высокого давления, которое создается с помощью аксиальной плунжера 4 (рисунок 3) или нескольких радиальных плунжеров 4 (рисунок 4). Вращающийся центральный плунжер-распределитель открывает и закрывает распределительные отверстия, направляя топливо через распределительный паз 8 к отдельным форсункам двигателя. Продолжительность впрыскивания может изменяться перемещением регулирующей втулки 5 (рисунок 3) или с помощью электромагнитного клапана 5 высокого давления (рисунок 4).

### **Распределительные ТНВД с аксиальным движением плунжера (аксиальные насосы) VE**

Кулачковая шайба 3 (рисунок 3), жестко соединенная с плунжером-распределителем, приводится во вращение от двигателя. Число кулачков, выполненных в виде выступов на рабочей поверхности шайбы, соответствует

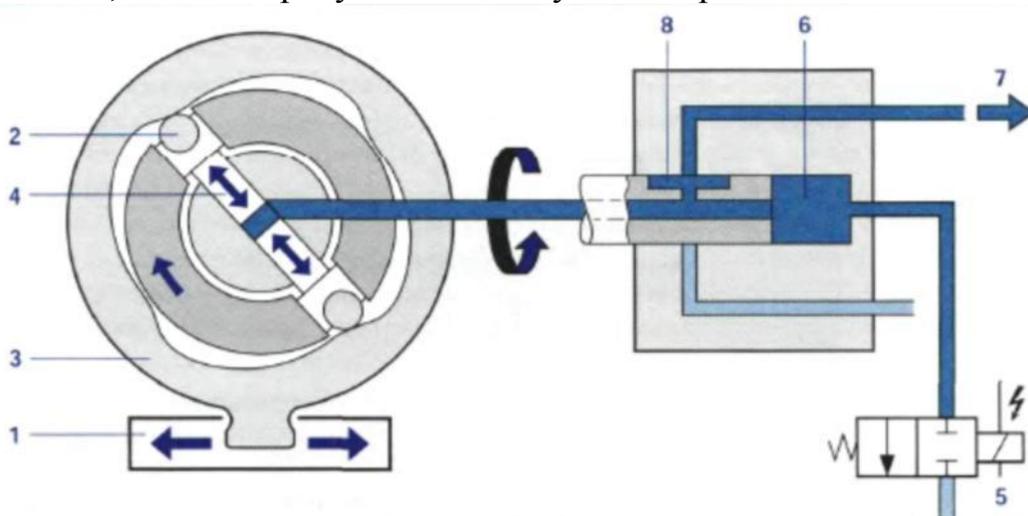
числу цилиндров двигателя. Шайба обкатывается по роликам 2, при наезде на которые кулачки приводят вращающийся плунжер-распределитель в дополнительное возвратно-поступательное движение.



**Рисунок 3 – Принцип действия распределительного ГНВД с аксиальным движением плунжера и распределением топлива с помощью регулирующей кромки**

1-Траектория поворотов роликового кольца; 2-Ролик; 3-Кулачковая шайба; 4-Аксиальный плунжер-распределитель; 5-Регулирующая втулка; 6-Камера высокого давления; 7-Подача топлива к форсунке; 8-Распределительный паз; X - активный ход плунжера

По мере вращения приводного вала плунжер-распределитель совершает столько ходов, сколько требуется по числу цилиндров двигателя.



**Рисунок 4 – Принцип действия распределительного ГНВД с радиальным движением плунжеров и распределением топлива с помощью электромагнитного клапана**

1-Регулировка момента впрыскивания сдвигом кулачковой шайбы; 2-Ролик; 3-Кулачковая шайба; 4-Радиальный плунжер; 5-Электромагнитный клапан высокого давления; 6 -Камера высокого давления; 7-Подача топлива к форсунке; 8-Распределительный паз

В аксиальных ТНВД с механическим центробежным регулятором или исполнительным механизмом, управляемым электроникой, величины активного хода плунжера и цикловой подачи определяет положение регулирующей втулки 5 (рисунок 3).

Установка момента начала впрыскивания происходит поворотом роликового кольца на необходимый угол 1 (рисунок 3).

### **Распределительные ТНВД с радиальным движением плунжеров (роторные насосы) VR**

Насос с радиальными плунжерами также снабжен кулачковой шайбой 3, только, в отличие от аксиальных ТНВД, не торцевой, а кольцевой (рисунок 4). Кроме того, имеется от двух до четырех радиальных плунжеров 4, создающих высокое давление топлива. С помощью таких ТНВД могут достигаться более высокие значения давления впрыскивания, чем у аксиальных ТНВД. Они отличаются к тому же более высокой механической прочностью.

Регулировка момента впрыскивания может осуществляться сдвигом кулачковой шайбы. Момент начала впрыскивания и продолжительность впрыскивания у этих ТНВД регулируется исключительно электромагнитным клапаном.

### **Распределительные ТНВД, регулируемые электромагнитным клапаном**

В таких ТНВД дозирование цикловой подачи, равно как и изменение момента начала впрыскивания, происходит с помощью электромагнитного клапана высокого давления, оснащенного системой электронного регулирования. Один или два электронных блока этой системы (для ТНВД и двигателя) в нужный момент выдают управляющие и распределительные сигналы. Если электромагнитный клапан закрыт, давление в камере 6 высокого давления нарастает. Если он открыт, давление не увеличивается и топливо не попадает в магистрали, ведущие к форсункам.

## **Система индивидуальных ТНВД**

### **Индивидуальные ТНВД серии PF**

Индивидуальные ТНВД серии PF, каждый из которых рассчитан на работу с одной форсункой, изначально применялись для двигателей судов, тепловозов, строительных машин, а также малых моторов. Они используются, кроме того, при эксплуатации дизелей на вязких видах дизельного топлива.

Рабочий процесс аналогичен происходящему в рядных ТНВД типа PE. Индивидуальные насосы — как все одноцилиндровые системы — не имеют собственного кулачкового вала. Их приводные кулачки расположены на распределительном валу механизма газораспределения дизеля.

У больших двигателей гидромеханический или электронный регулятор частоты вращения коленчатого вала расположен непосредственно на картере.

Величина цикловой подачи, определяемая регулятором частоты вращения, устанавливается с помощью рейки, единой для нескольких ТНВД.

Из-за прямой связи плунжера с кулачковым валом установка момента начала впрыскивания простым поворотом вала невозможна. Здесь перестановка

угла в пределах нескольких градусов поворота достигается установкой промежуточного элемента. Возможно также управление при помощи электромагнитного клапана.

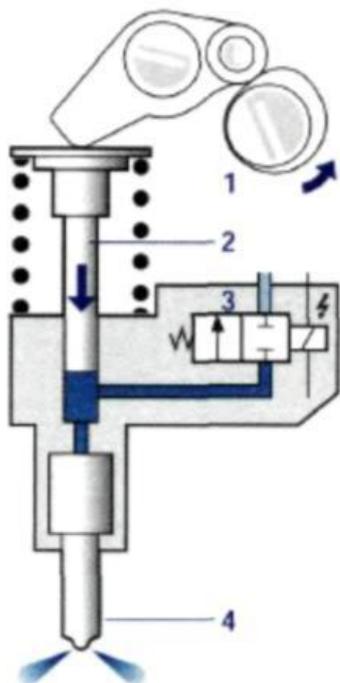
### Насос-форсунки (система UIS)

В насос-форсунке системы UIS (UIS — Unit Injector System) ТНВД и форсунка объединены в единый агрегат (рисунок 4). Насос-форсунка устанавливается на каждый цилиндр двигателя. Она приводится в действие от кулачка распределительного вала двигателя непосредственно толкателем или через коромысло.

Так как здесь отсутствуют магистрали высокого давления, то в форсунке могут быть достигнуты существенно более высокие (до 2500 бар) величины давления впрыскивания, чем в рядных или распределительных ТНВД. Протекание впрыскивания регулируется электромагнитным клапаном 3 высокого давления.

### Система индивидуальных ТНВД с электромагнитным клапаном (UPS)

Система индивидуальных ТНВД с электромагнитным клапаном UPS (UPS — Unit Pump System) в принципе работает так же, как и предыдущая (рисунок 5). Отличие заключается в том, что форсунка и насос не являются единым агрегатом — их соединяет короткая магистраль 3 высокого давления. Это разделение элементов упрощает конструкцию и ее монтаж на двигателе. На каждый цилиндр приходится по форсунке, трубопроводу и насосной секции. Каждый плунжер приводится от кулачка 6 распределительного вала двигателя.



Как и у насос-форсунок, начало и продолжительность впрыскивания регулируются электроникой через быстродействующий электромагнитный клапан 4 высокого давления.

Рисунок 4 – Принцип действия насос-форсунки:  
1-Кулачок привода ТНВД; 2- Плунжер; 3- Электромагнитный клапан высокого давления; 4- Распылитель форсунки

### Система Common Rail

В аккумуляторной системе впрыска Common Rail (иногда обозначается как CR) функции создания высокого давления и впрыскивания разделены (рисунок 7). Давление впрыскивания создается и регулируется автономным ТНВД 1 независимо от частоты вращения коленчатого вала и величины цикловой подачи. Оно поддерживается в топливном аккумуляторе 2 давления для последующего впрыскивания.

Эта система предоставляет гораздо большие возможности для

варьирования параметров впрыскивания топлива, чем предыдущие.

В каждый цилиндр двигателя устанавливается форсунка. Впрыскивание топлива осуществляется открытием и закрытием электромагнитного клапана 3 высокого давления. Момент впрыскивания и цикловая подача регулируются электронным блоком управления.

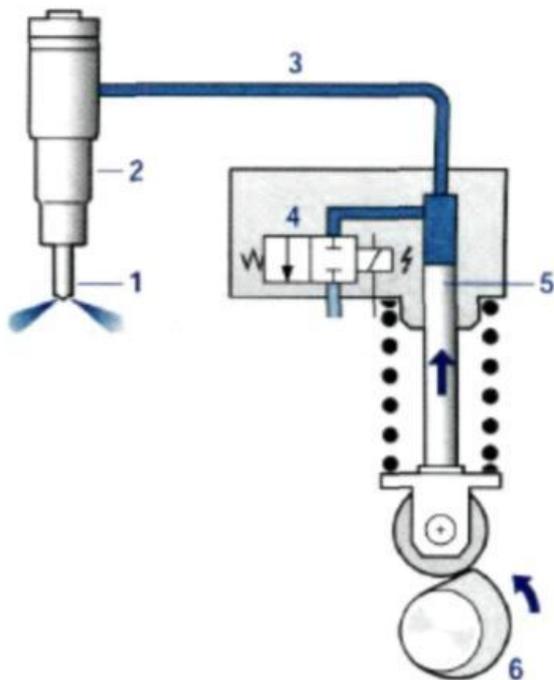


Рисунок 5 – Принцип действия индивидуального ТНВД с электромагнитным клапаном: 1- Распылитель форсунки; 2- Форсунка; 3- Магистраль высокого давления; 4- Электромагнитный клапан высокого давления; 5-Плунжер; 6-Кулачок привода ТНВД

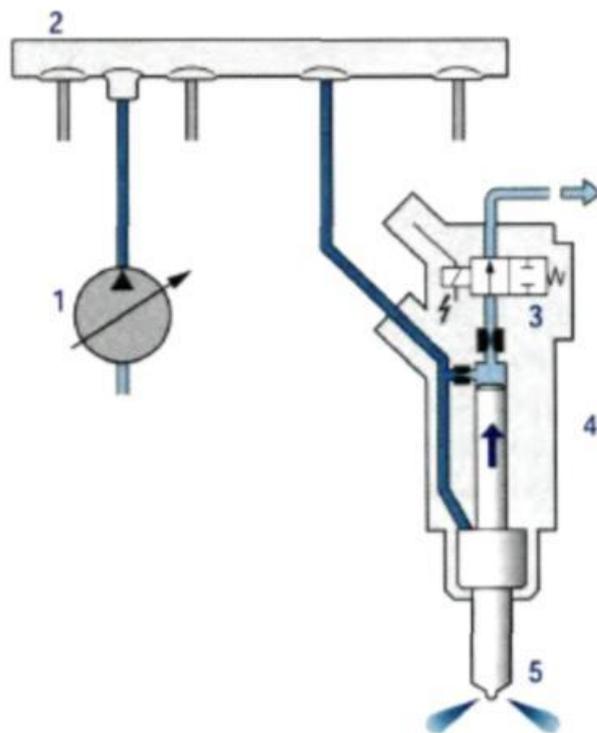


Рисунок 6 – Принцип действия аккумуляторной системы Common Rail:

1-Автономный ТНВД; 2-Аккумулятор давления; 3-Электромагнитной клапан высокого давления; 4- Форсунка; 5- Распылитель форсунки

Развитие систем впрыска топлива для дизельных двигателей началось на фирме Bosch в конце 1922 г. Технические предпосылки для этого были благоприятными: проводились испытания различных двигателей, развивалась производственная база, вдобавок накопился богатый опыт, полученный при создании масляных насосов. Конечно, специалисты фирмы Bosch весьма рисковали, поскольку ряд задач еще ждал своего решения.

Первые серийные ТНВД фирмы Bosch появились в 1927 г. Точность их изготовления для того времени была уникальной. Они были малогабаритными, легкими и позволяли дизелю работать с большими нагрузками. Такие рядные ТНВД стали устанавливаться с 1932 г. на грузовых, а с 1936 г. – на легковых автомобилях. С этого времени развитие дизелей и систем впрыска пошло

невиданными темпами.

В 1962 г. созданные фирмой Bosch распределительные ТНВД с автоматическим регулированием параметров впрыскивания дали развитию дизелей новый импульс. Более чем через два десятилетия в результате долгой исследовательской работы пошел в серийное производство электронный регулятор, также созданный специалистами фирмы Bosch. Приоритетными направлениями исследовательских работ в настоящее время являются точное дозирование минимальных цикловых подач топлива и повышение давления впрыскивания. Это привело к появлению многих новинок в конструкции систем впрыска топлива. Новые системы впрыска позволяют дополнительно поднять потенциал дизелей. В результате наблюдается постоянное повышение мощности при одновременном снижении уровней шума и эмиссии ОГ.

### **2.3 Система Common Rail**

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 изменений давления топлива и момента начала впрыскивания. Все это реализуется путем разделения процессов создания давления и обеспечения впрыскивания.

#### **Применение**

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

- легковые автомобили: широкая гамма двигателей — от трехцилиндровых (800 см<sup>3</sup>/30 кВт (41 л. с), 100 Н·м) до восьмицилиндровых (3900 см<sup>3</sup>/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 зависимо-

сти 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 ОГ.

### Конструкция

Аккумуляторная система Common Rail включает в себя (рисунок 7):

- 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.

Важнейшим элементом аккумуляторной системы впрыска является форсунка с быстродействующим электромагнитным клапаном. Он открывает и закрывает распылитель, регулируя процесс впрыскивания топлива к каждому цилиндру. 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.



Рисунок 7 – **Принципиальная схема управления работой дизеля с аккумуляторной системы впрыска Common Rail:**  
1-ТНВД; 2-Топливный аккумулятор высокого давления; 3-Форсунки  
**Принцип действия**

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

### **Создание высокого давления**

Непрерывно работающий ТНВД с приводом от дизеля создает потребное 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.

### **Впрыскивание**

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).

### **Управление и регулирование**

Блок управления работой дизеля учитывает с помощью датчиков положение педали газа и конкретные параметры эксплуатации автомобиля. К ним относятся среди прочих:

- угол поворота коленчатого вала;
- частота вращения распределительного вала;
- давление в топливном аккумуляторе;
- давление воздуха во впускном трубопроводе;
- температура воздуха на впуске, топлива и охлаждающей жидкости;
- расход воздуха;
- скорость движения автомобиля и т. д.

Блок управления обрабатывает входящие сигналы и за короткое время генерирует сигналы управления для ТНВД, форсунок и других исполнительных механизмов, таких, как турбонагнетатель или клапан рециркуляции ОГ.

Требуемое быстрое действие включения форсунок достигается благодаря оптимизации работы электромагнитных клапанов и особой системы регулирования.

Система «угол — время» сравнивает временной момент впрыскивания с показаниями датчиков положения коленчатого и распределительного валов во время работы двигателя (управление по времени). Система электронного регулирования работы дизеля подразумевает строгую дозировку впрыскивания. Кроме того, она предоставляет возможность для широкого использования дополнительных функций, которые улучшают параметры движения автомобиля.

### **Основная функция системы электронного регулирования**

Основной функцией системы электронного регулирования является управление впрыскиванием дизельного топлива в нужный момент в необходимом количестве и с необходимым давлением, что обеспечивает умеренный расход топлива и малый уровень шума работы дизеля.

### **Дополнительные функции системы электронного регулирования**

Дополнительные управляющие и регулирующие функции системы электронного регулирования предназначены для уменьшения уровня эмиссии ОГ и расхода топлива или повышения комфорта и безопасности движения, например:

- регулирование рециркуляции ОГ;
- регулирование давления наддува;
- регулирование скорости автомобиля;
- электронная защита от угона и т. д.

Интеграция системы электронного регулирования в общую систему управления автомобилем открывает ряд новых возможностей (например, обмен данными с системами управления автоматической коробкой передач или кондиционером).

Система диагностики подразумевает использование собранных и систематизированных данных при диагностике неисправностей автомобиля.

### **Конфигурация блоков управления**

Так как стандартный блок управления работой дизеля имеет шесть каскадов управления форсунками, для дизелей с большим числом цилиндров предусматривается установка двух блоков управления. Они соединяются в группу «ведущий — ведомый» через внутреннюю шину, благодаря чему увеличивается мощность микроконтроллеров. Некоторые функции исполняются лишь определенным блоком управления (например, управление коррекцией величины цикловой подачи), другие могут гибко перерас-

пределяться между блоками (например, опрос датчиков).

## **Системы рециркуляции и очистки ОГ**

### **Управление рециркуляцией ОГ**

#### **Легковые автомобили**

Рециркуляция отработавших газов является эффективным средством для уменьшения уровня выбросов  $\text{NO}_x$  в ОГ. Часть ОГ через перепускной клапан направляется во впускной тракт, причем их охлаждение предоставляет дополнительные преимущества. Для дизелей легковых автомобилей, где рециркуляция ОГ допускается в нижней части диапазона нагрузок, этот способ используется давно.

#### **Грузовые автомобили**

Дизели грузовых автомобилей сегодня в большинстве своем оснащаются турбонагнетателями. При высокой нагрузке у этих двигателей, как правило, отсутствует перепад давлений между выпускным трактом перед турбиной и впускным трубопроводом после нагнетателя. Так как на грузовых автомобилях система рециркуляции подает охлажденные ОГ во впускной тракт и в верхней части диапазона нагрузок, необходимо применять дополнительные механизмы, например, турбонагнетатель с изменяемой геометрией, регулируемый сопловый аппарат или предохранительный клапан.

#### **Очистка ОГ**

Очистка ОГ становится весьма актуальной для соответствия все более ужесточающимся требованиям по параметрам ОГ. Это относится прежде всего к легковым и тяжелым грузовым автомобилям. Многие системы еще разрабатываются, и остается открытым вопрос, какие из них будут применяться. Повсеместно используется, как правило, высокая эластичность системы впрыска. Аккумуляторная система питания дизеля в этом смысле предоставляет особенно много возможностей:

- дизельный окислительный нейтрализатор уменьшает, прежде всего, эмиссию углеводородов (СН) и оксида углерода (СО), а также частично летучих углеводородных фракций;
- различные фильтры частиц задерживают сажевые частицы в ОГ (например, существует система фильтрации частиц с непрерывным регенерированием);
- каталитический нейтрализатор уменьшает содержание  $\text{NO}_x$ . В настоящее время этот агрегат адаптируется для применения на дизелях легковых автомобилей;
- селективный нейтрализатор уменьшает содержание  $\text{NO}_x$  с помощью аммиака. Последний выделяется в гидролиз-катализаторе (или водородном катализаторе) из мочевины, являющейся средством снижения

токсичности. В новых системах водородный и селективный нейтрализаторы объединены в единый блок.

В комбинированных системах (называемых также четырехкомпонентными системами) объединено несколько различных агрегатов, позволяющих одновременно уменьшить эмиссию NO<sub>x</sub>, CH и CO, а также частиц сажи. Эти системы, однако, требуют очень точного управления работой дизеля.

### **Системная схема для легкового автомобиля**

На рисунке 8 показаны все агрегаты аккумуляторной системы впрыска, установленной на восьмицилиндровом дизеле легкового автомобиля в полной комплектации. В зависимости от типа автомобиля и вида использования некоторые узлы не применяются.

Чтобы иметь наглядное представление о системе, датчики и исполнительные механизмы (А) конструктивно на схеме не представлены. Исключение составляют датчики и оборудование для очистки ОГ (F) и датчик давления топлива в аккумуляторе, так как их конструктивное расположение необходимо указать для понимания работы всей схемы.

Через шину CAN в блоке «Панель приборов» (B) возможен обмен данными с самыми различными блоками, такими как:

- стартер;
- генератор;
- электронная противоугонная система;
- управление автоматической коробкой передач;
- управление противобуксовочной системой;
- программатор электронной стабилизации.

Панель 12 приборов и панель 13 управления кондиционером также могут быть подключены к шине CAN.

Для очистки ОГ может использоваться одна из трех комбинированных систем (a, b или c).

### **Рисунок 8 – Аккумуляторная система впрыска для легкового автомобиля**

#### **Двигатель, его система управления и агрегаты высокого давления**

- 16. ТНВД
- 23. Блок управления работой дизеля (ведущий)
- 24. Блок управления работой дизеля ведомый)
- 25. Топливный аккумулятор высокого давления

- 26. Датчик давления в аккумуляторе
- 27. Форсунка
- 28. Штифтовая свеча накаливания
- 29. Дизель
- М - крутящий момент

#### **А Датчики и исполнительные механизмы**

- 1. Датчик положения педали газа
- 2. Датчик-выключатель сцепления

- 3.Контакты тормозов (2)
- 4.Устанавливающий элемент регулятора скорости автомобиля
- 5.Выключатель стартера и свечей накаливания
- в. Датчик скорости автомобиля
- 7.Датчик частоты вращения коленчатого вала
- 8.Датчик температуры охлаждающей жидкости
- 9.Датчик температуры воздуха на впуске
- 10.Датчик давления воздуха во впускном трубопроводе
- 11.Пленочный измеритель массового расхода воздуха

### **В Панель приборов**

- 12.Комбинированная панель приборов с выдачей сигналов о расходе топлива, частоте вращения коленчатого вала и т. д.
  - 13.Панель управления компрессором кондиционера
  - 14.Диагностический монитор
  - 15.Таймер работы свечей накаливания
- Шина CAN (серийный интерфейс на автомобиле)

### **С снабжение топливом ( контур низкого давления)**

- 17.Топливный фильтр с клапаном перетока
- 18.Топливный бак с фильтром

- грубой очистки и топливо подкачивающим насосом
- 19.Датчик уровня топлива

### **Д Дополнительные системы**

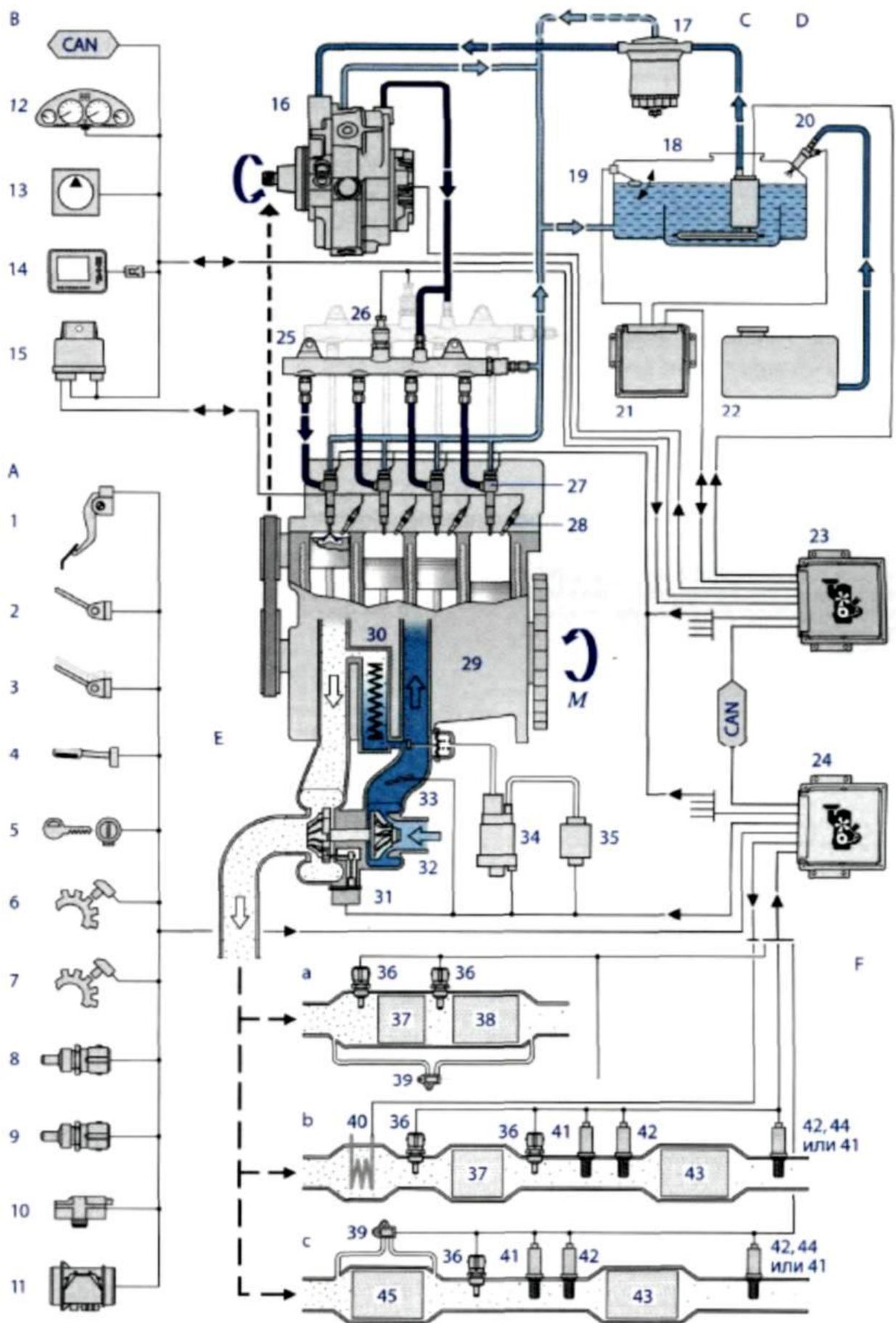
- 20.Дополнительное дозирование
- 21.Дополнительный контрольно управляющий прибор
- 22.Дополнительный бак

### **Е Снабжение воздухом**

- 30.Охладитель рециркулирующих ОГ
- 31.Регулятор давления наддува
- 32.Турбонагнетатель (здесь — с изменяемой геометрией турбины VTG)
- 33.Регулировочная заслонка
- 34.Исполнительный механизм рециркуляции ОГ
- 35.Вакуумный насос

### **Ф Очистка отработавших газов**

- 36.Датчик температуры ОГ
- 37.Нейтрализатор окислительный
- 38.Сажевый Фильтр
- 39.Датчик перепада давлений
- 40.Подогрев ОГ
- 41.Датчик уровня NO,
- 42.Широкополосный лямбда зонд
- 43.Аккумулирующий нейтрализатор NO,
- 44.Двухрежимный лямбда зонд
- 45.Каталитически очищаемый сажевый фильтр



## Системная схема для грузового автомобиля

На рисунке 9 показаны все агрегаты аккумуляторной системы впрыска, установленной на шестицилиндровом дизеле трудового автомобиля в полной комплектации в зависимости от типа автомобиля.

Чтобы иметь наглядное представление, датчики и исполнительные механизмы (А) конструктивно не представлены. Исключение составляют датчики и оборудование для очистки ОГ (F) и датчик давления топлива в аккумуляторе, так как их конструктивное расположение не обходимо указать для понимания работы всей схемы.

Через шину CAN в блоке «Панель приборов» (В) возможен обмен данными с различными блоками (например, управлением автоматической коробкой передач, противобуксовочной системой, программой стабилизации, датчиком качества масла, тахографом, состоянием радара, управлением автомобиля, координацией управления торможением, управлением заслонками — до 30 приборов). Через шину CAN могут быть подсоединены также генератор 18 и компрессор кондиционера 17. Для очистки ОГ может быть использована одна из трех систем (а, б или с).

Рисунок 9 – Аккумуляторная система впрыска для грузового автомобиля

### Двигатель, его система

### управления и агрегаты

### контура высокого давления

22. ТНВД

29. Блок управления работой дизеля (ведущий)

30. Топливный аккумулятор высокого давления

31. Датчик давления топлива в аккумуляторе

32. Форсунка

33. Реле

34. Дополнительные агрегаты (например-тормоз замедлитель, заслонка моторного тормоза, стартер, вентилятор)

35. Дизель

36. Штифтовая свеча накаливания (альтернатива сетке накаливания)

М - крутящий момент

### А Датчики и исполнительные механизмы

1. Датчик положения педали газа

2. Датчик выключения сцепления

3. Контакты тормозов (2)

4. Контакт моторного тормоза

5. Контакт стояночного тормоза

6. Переключатель условий (например - регулятора скорости автомобиля, двухрежимного регулятора понижения частоты вращения или крутящего момента)

7. Выключатель стартера и свечей накаливания

8. Датчик частоты вращения вала турбокомпрессора

9. Индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала

10. Датчик частоты вращения распределительного вала

11. Датчик температуры топлива

12. Датчик температуры охлаждающей жидкости

13. Датчик температуры нагнетаемого воздуха

14. Датчик давления воздуха во впускном трубопроводе

15. Датчик расхода воздуха

18. Датчик перепада давлений на воздушном фильтре

### **В Панель приборов**

17. Панель управления компрессором кондиционера

18. Генератор

19. Диагностический дисплей

20. Управляющий прибор SCR

21. Воздушный компрессор

Шина CAN (серийный интерфейс на автомобиле, до трех штук)

### **С Снабжение топливом (контур низкого давления)**

23. Топливоподкачивающий насос

24. Топливный фильтр с датчиками давления и уровня воды в водосборнике

25. Радиатор блока управления

26. Топливный бак с фильтром грубой очистки

27. Датчик ограничения давления

28. Датчик уровня топлива

### **Д Снабжение воздухом**

37. Охладитель рециркулирующих ОГ

38. Регулировочная заслонка

39. Регулятор рециркулирующих ОГ с клапаном и датчиком

позиционирования

40. Радиатор нагнетаемого воздуха с перепуском для холодного пуска

41. Турбонагнетатель (здесь VTG) с датчиком позиционирования

42. Регулятор давления наддува

### **Е Очистка ОГ**

43. Датчик температуры ОГ

44. Окислительный нейтрализатор

45. Датчик перепада давлений

46. Сажевый фильтр

47. Датчик сажи

48. Датчик уровня в баке для средств понижения токсичности

49. Овк для средств понижения токсичности

50. Подкачивающая помпа для средств понижения токсичности

51. Форсунка для средств понижения токсичности

52. Датчик NO\*

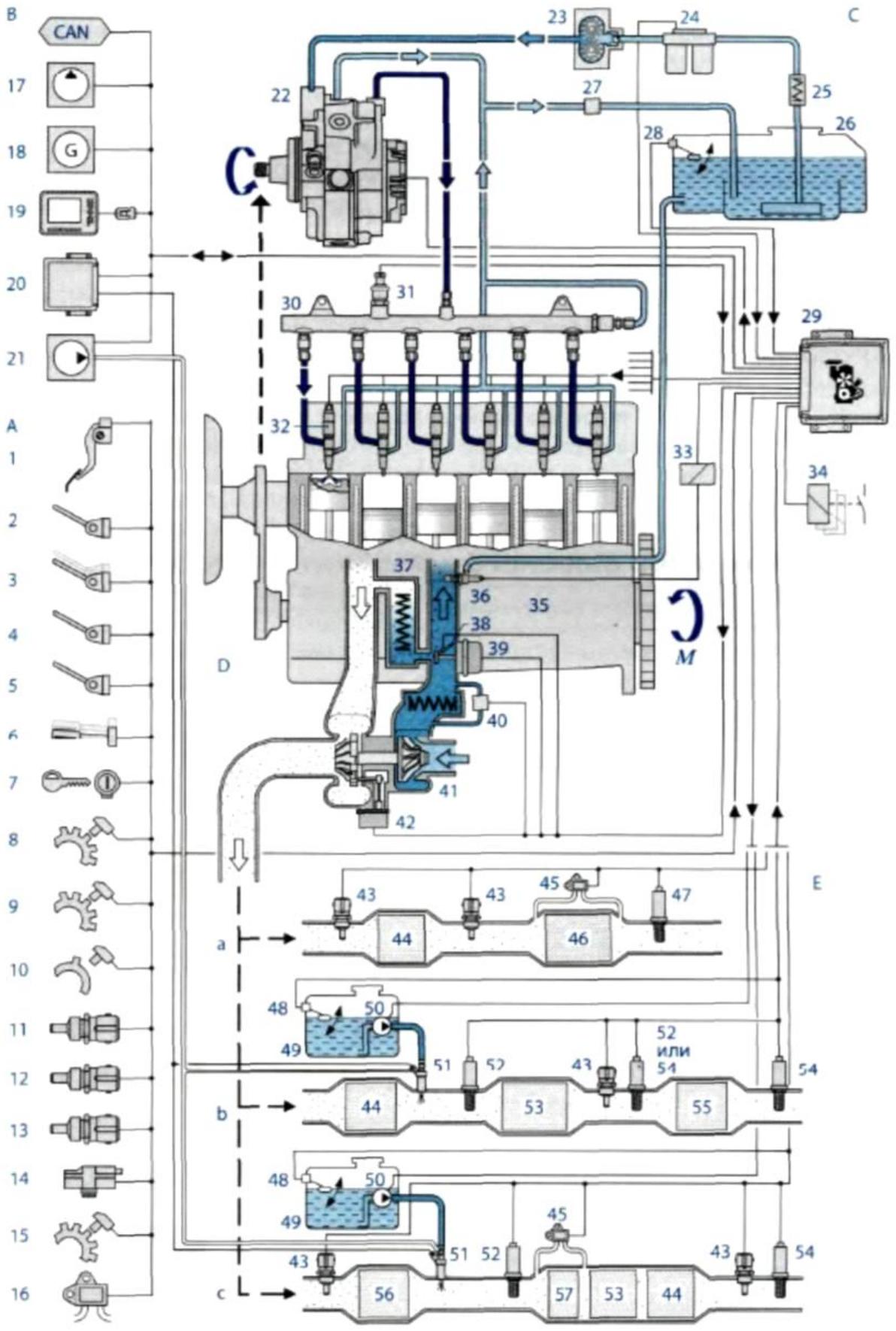
53. Нейтрализатор SCR

54. Датчик NH<sub>3</sub>

55. Конечный нейтрализатор

56. Каталитически очищаемый сажевый фильтр CSF

57. Гидролизный нейтрализатор



## 2.4 Агрегаты контура высокого давления системы Common Rail

Контур высокого давления аккумуляторной системы Common Rail делится на три части; создания давления, его аккумуляирования и дозировки топлива (рисунке 10 и 11). Топливный насос высокого давления снабжен клапаном регулирования давления и клапаном отключения плунжерной секции. С помощью ТНВД высокое давление аккумулируется в специальной камере — аккумуляторе давления, оснащенный датчиком давления, клапаном ограничения давления (перепускным клапаном) и ограничителем пропускной способности. Форсунки служат для своевременной подачи топлива в нужном количестве. Магистраль высокого давления связывают все эти части друг с другом.

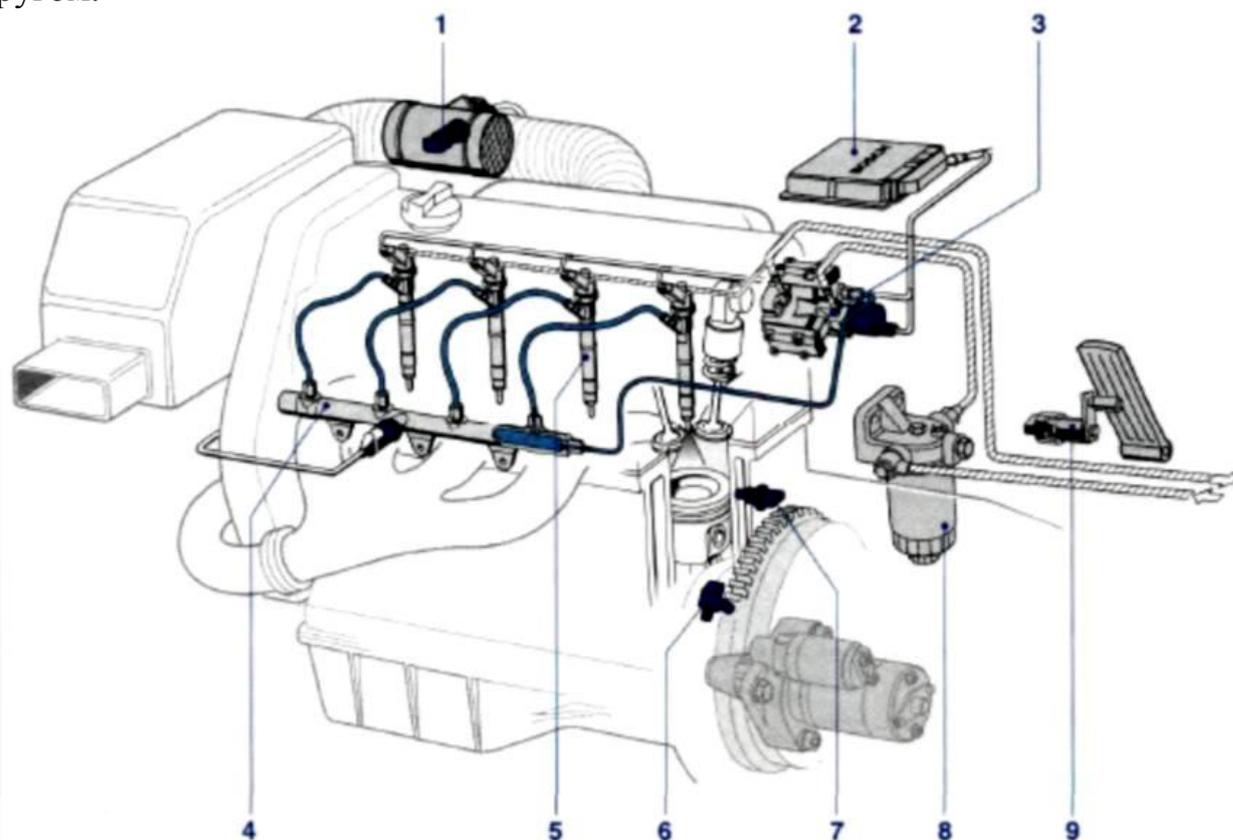


Рисунок 10– Аккумуляторная система Common Rail для четырехцилиндрового двигателя

1-Датчик массового расхода воздуха; 2-Блок управления работой дизеля; 3-ТНВД; 4-Аккумулятор высокого давления; 5-Форсунка; 6-Датчик частоты вращения коленчатого вала; 7-Датчин температуры охлаждающей жидкости; 8-Топливный фильтр; 9-Датчик положения педали газа

### 2.4.1 Топливный насос высокого давления

#### Назначение

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 и топливном аккумуляторе.

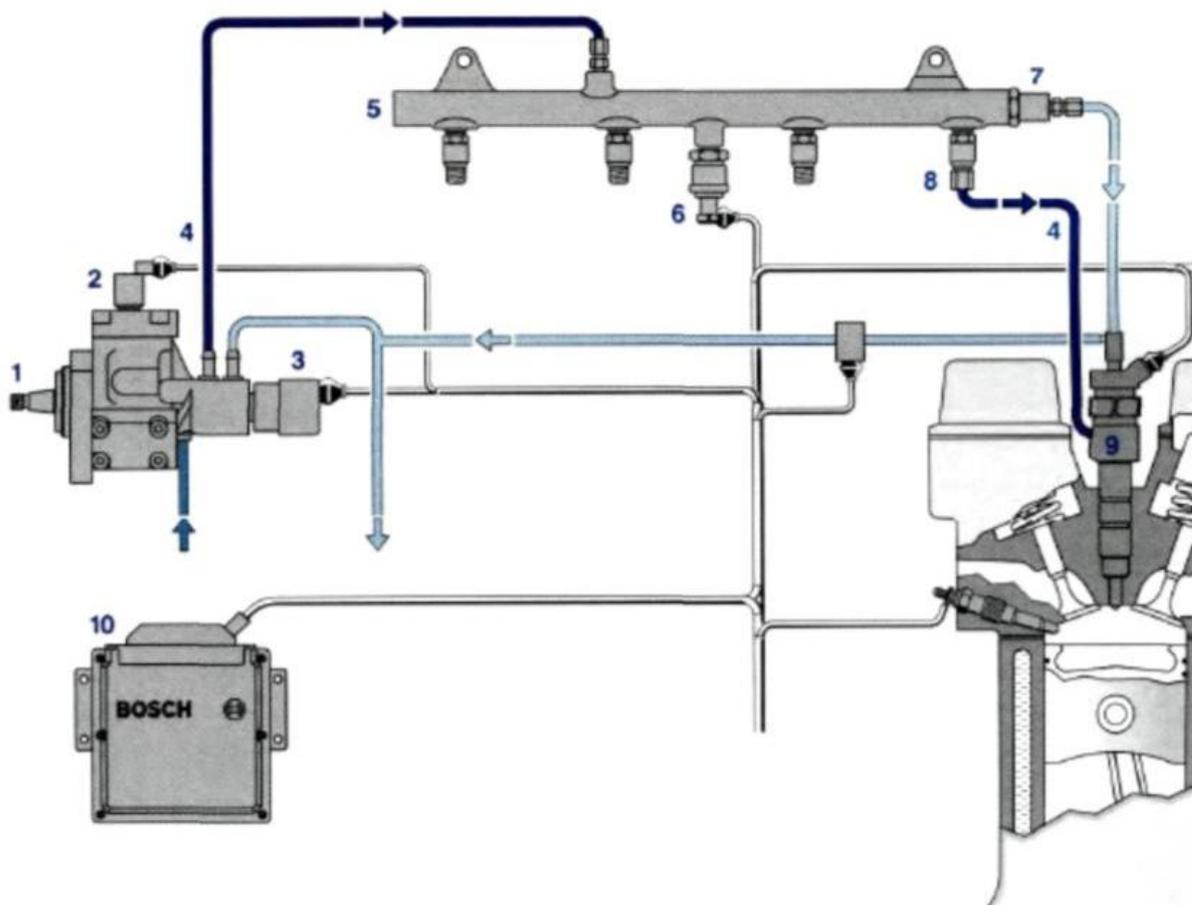


Рисунок 11 – Контур высокого давления аккумуляторной системы впрыска **Common Rail**

1- ТНВД; 2-Клапан отключения плунжерной секции; 3-клапан регулирования давления; 4-Магистраль высокого давления; 5-Аккумулятор высокого давления; 6- Датчик давления топлива в аккумуляторе; 7-Клапан ограничения давления (перепускной клапан); 8-Ограничитель пропускной способности; 9-Форсунка; 10- Блок управления работой дизеля

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

### Устройство

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  $3000 \text{ мин}^{-1}$  и напрямую связана передаточным отношением с частотой вращения коленчатого вала. ТНВД смазывается проходящим через него топливом.

Клапан 3 регулирования давления (рисунок 11) в зависимости от имеющегося подкапотного пространства устанавливается либо непосредственно на ТНВД, либо отдельно.

Три плунжера 3, радиально расположенные по окружности через  $120^\circ$  (рисунок 12), сжимают топливо внутри ТНВД.

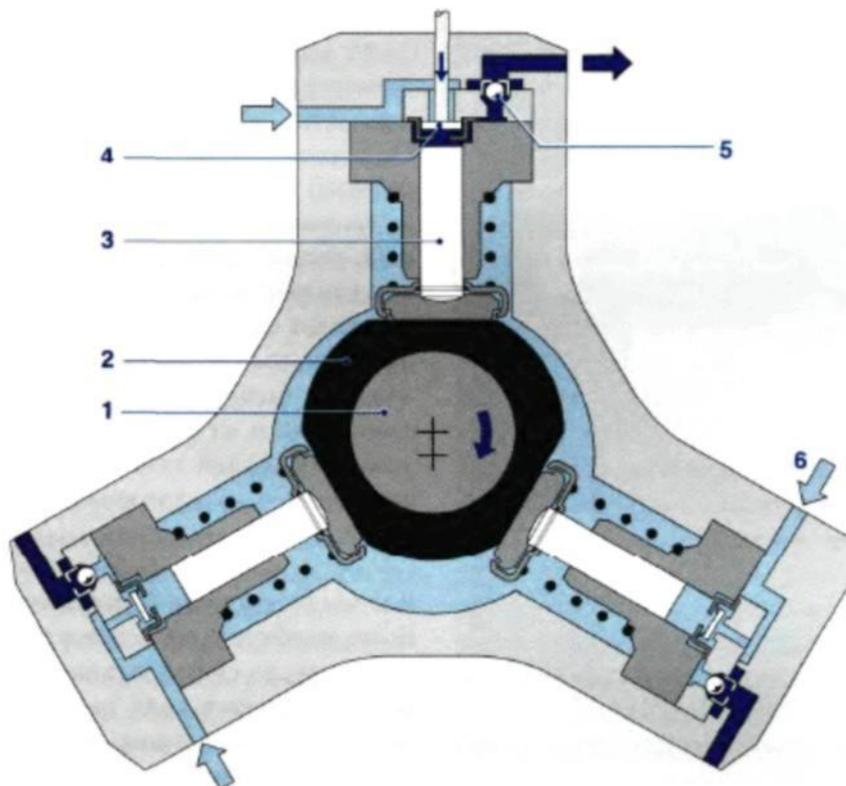


Рисунок 12 – ТНВД системы впрыска Common Rail (схема, поперечный разрез)

1-Вал привода; 2-Эксцентриковый кулачок; 3-Плунжер с втулкой; 4-Впускной клапан; 5-Выпускной клапан; 6-Подача топлива

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  $16 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , 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. Необходимая для привода ТНВД мощность возрастает пропорционально потребной частоте вращения вала привода насоса и давлению в аккумуляторе высокого давления. На дизеле рабочим объемом  $2,0 \text{ л}$  ТНВД (при механическом КПД около  $90\%$ ) потребляет мощность порядка  $3,8 \text{ кВт}$  при номинальной частоте вращения коленчатого вала и давлении  $1350 \text{ бар}$  в аккумуляторе высокого давления. Более высокая мощность требуется по причине утечек, расхода на управление форсунками и обратного слива топлива через клапан регулирования давления.

## Принцип действия

Топливоподкачивающий насос подает горючее к ТНВД через фильтр с сепаратором воды. Пройдя через дроссельное отверстие защитного клапана 14 (рисунок 13, топливо, используемое также для смазки и охлаждения деталей ТНВД, лижется к плунжерам по системе каналов. Вал 1 привода с эксцентриковыми кулачками 2 одновременно заставляет поступательно двигаться все три плунжера 3.

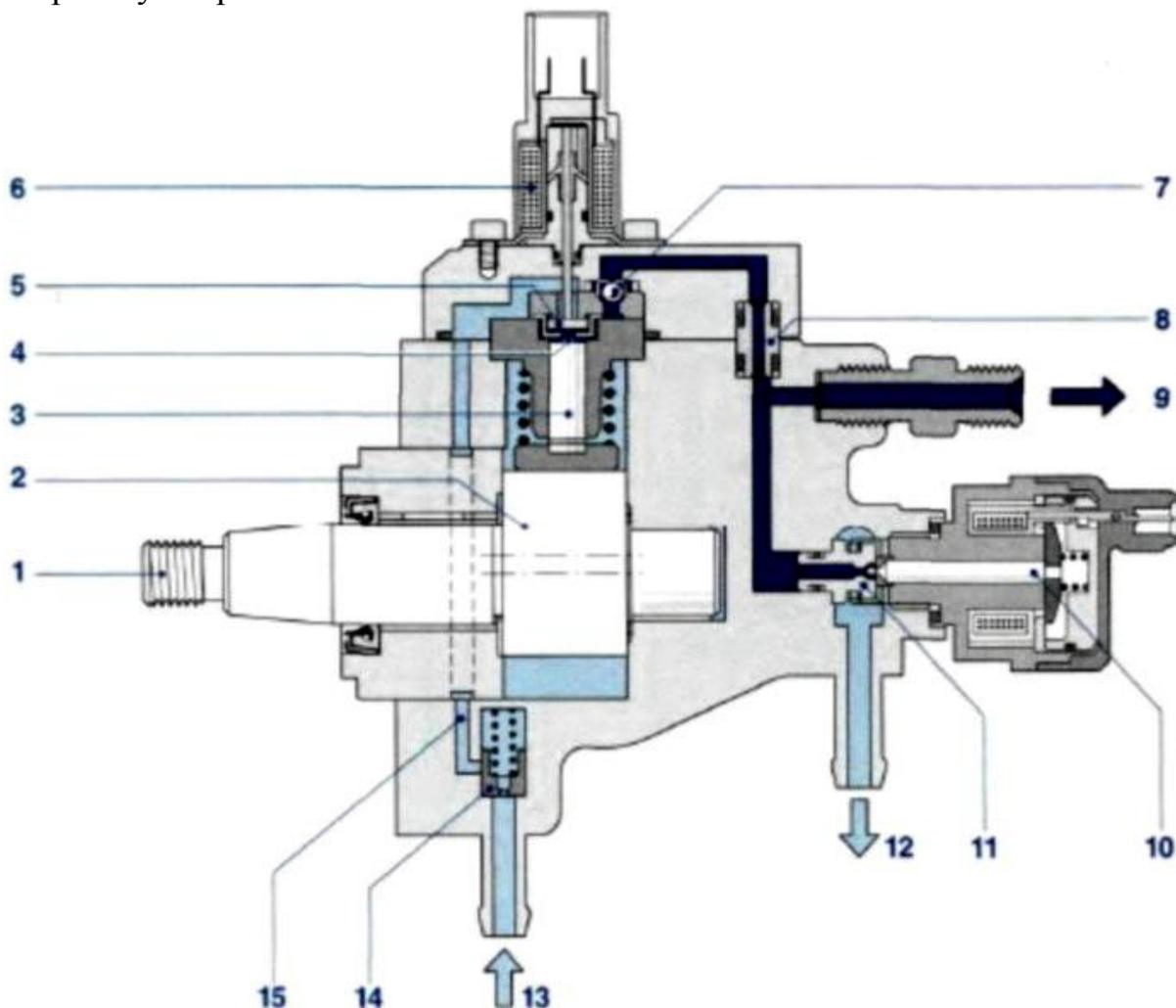


Рисунок 13 – ТНВД системы впрыска Common Rail (схема, продольный разрез):

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 в ТНВД; 14-Защитный клапан с дроссельным отверстием; 15- Перепускной канал низкого давления

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 выпуск). 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, обрывается 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.

### **Мощность подачи**

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.

### **Отключение плунжерной секции**

При отключении одной плунжерной секции 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.

### **Передаточное отношение**

Величина подачи топлива к аккумулятору высокого давления пропорциональна частоте вращения вала привода ТНВД, которая, в свою очередь, непосредственно зависит от частоты вращения коленчатого вала дизеля. Соотношение частот вращения валов к двигателю устанавливается при адаптации системы впрыска. Передаточное отношение между приводным и коленчатым валами подбирается таким образом, чтобы избыток подаваемого топлива был невелик, но в режиме полной нагрузки полностью удовлетворялась потребность в горючем. Возможные значения этого передаточного отношения составляют 1:2 и 2:3.

## 2.4.2 Клапан регулирования давления

### Назначение

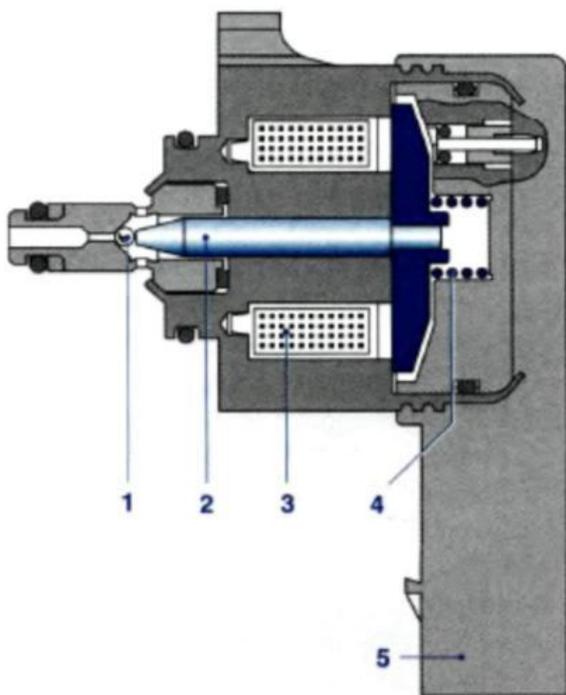
Клапан регулирования давления устанавливает величину давления в аккумуляторе высокого давления в зависимости от нагрузки на двигатель.

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 размыкает контуры высокого и низкого давления.

### Устройство

Клапан регулирования давления (рисунок 14) крепится через фланец к корпусу ТНВД или аккумулятора высокого давления. 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.

Рисунок 14 – Клапан:

1. Шарик клапана; 2. Якорь; 3. Электромагнит; 4. Пружина клапана; 5. Электрический штекер

### Принцип действия

Клапан регулирования давления имеет два контура:

- медленный (электрический) контур регулирует среднюю изменяющуюся величину давления в аккумуляторе высокого давления;
- быстрый (гидромеханический) контур выравняет высокочастотные колебания давления.

*Клапан регулирования давления отключен.* От аккумулятора или на выход ТНВД топливо под высоким давлением подается к 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 уравновесится 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.

Усилие электромагнита пропорционально силе управляющего тока. Изменение продолжительности периодического обесточивания клапана осуществляется широтно-импульсной модуляцией. Благодаря этому регулируется расход топлива на слив. Тактовая частота в 1 кГц достаточна для того, чтобы избежать возмущающих движений якоря и соответственно колебаний давления в топливном аккумуляторе.

В более современных системах впрыска регулирование давления происходит дозировкой количества топлива, поданного к ТНВД. Таким образом, уменьшаются энергетические потери.

### 2.4.3 Аккумулятор высокого давления (Rail)

#### Назначение

Аккумулятор высокого давления (Rail) содержит топливо под высоким давлением. Одновременно аккумулятор смягчает колебания давления, которые возникают и-и 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.

#### Устройство

Аккумулятор 1 высокого давления в общем виде имеет форму трубки (рисунок 15). В зависимости от конструкции двигателя конкретное исполнение аккумулятора может иметь разные формы.

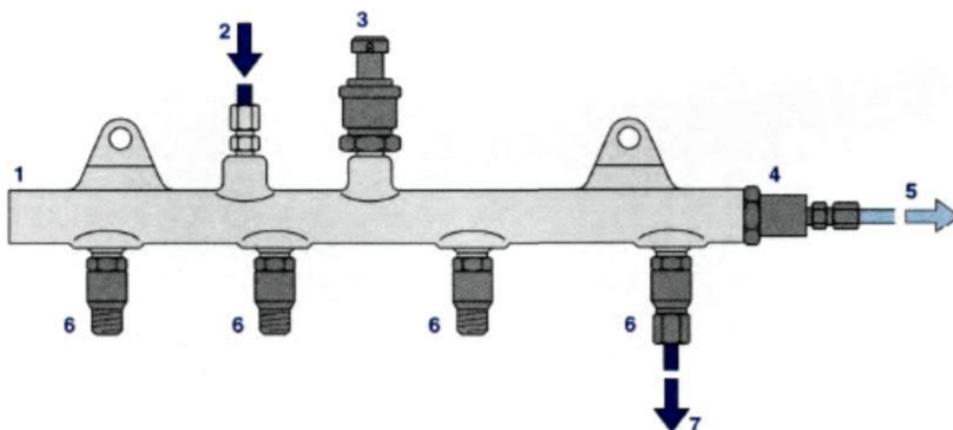


Рисунок 15 – Клапан регулирования давления:  
1-Аккумулятор высокого давления;  
2-Магистраль высокого давления к впускному штуцеру; 3-Датчик давления топлива;  
4-Клапан ограничения давления;  
5-Магистраль обратного слива; 6-Ограничитель расхода топлива 7. Магистраль

давления; 5-Магистраль обратного слива; 6-Ограничитель расхода топлива 7. Магистраль

высокого давления к форсунке

На аккумулятор могут устанавливаться датчик 3 давления топлива и клапан 4 ограничения давления. В качестве дополнительного оборудования могут устанавливаться ограничители 6 расхода топлива и клапан регулирования давления, если он не расположен на ТНВД.

### **Принцип действия**

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.

## **2.4.4 Клапан ограничения давления**

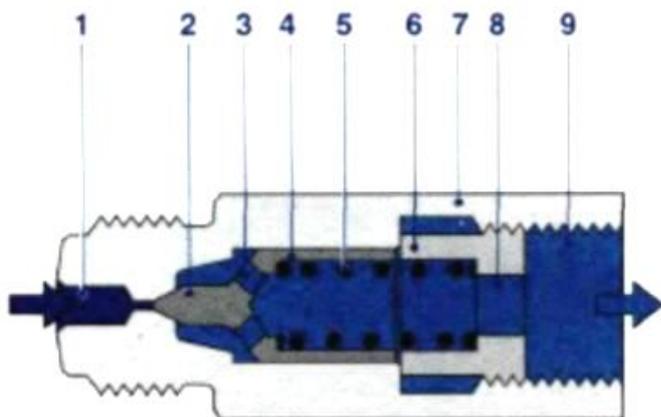
### *Назначение*

Клапан ограничения давления поддерживает определенную величину давления в аккумуляторе, выполняя фактически роль редуционного (предохранительного) клапана.

### *Устройство и принцип действия*

Механический клапан ограничения давления (рисунок 16) включает следующие конструктивные элементы:

- корпус 7 с наружной резьбой для вворачивания в аккумулятор и с внутренней резьбой для вворачивания упора сердечника клапана и присоединения магистрали обратного слива;
- подвижный сердечник 4 клапана;
- пружина 5 клапана.



**Рисунок 16 – Клапан ограничения давления (схема):**

1-Канал высокого давления; 2-Конус сердечника клапана; 3-Перепускной канал; 4-Сердечник клапана; 5-Пружина клапана; 6-Упор сердечника Клапана; 7-Корпус клапана; 8-Отверстие упора сердечника клапана; 9-Полость магистрали обратного слива

Корпус клапана со стороны

аккумулятора имеет канал, запираемый конусом сердечника клапана. Пружина 5 плотно прижимает конус к седлу клапана при нормальном рабочем давлении, так что аккумулятор остается закрытым. В случае когда величина давления в аккумуляторе превысит рабочее значение, конус-под действием давления отходит от седла

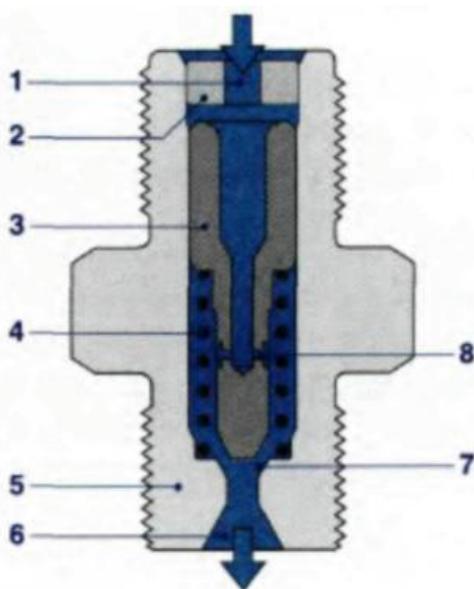
и находящееся под высоким давлением топливо через перепускные каналы 3 отводится в магистраль обратного слива. В результате давление топлива в аккумуляторе снижается.

## 2.4.5 Ограничитель расхода топлива

### Назначение

Ограничитель расхода топлива в системе Common Rail применяют, в частности, на двигателях тяжелых грузовых автомобилей. Он предназначен для предотвращения маловероятного случая, когда форсунка увеличивает продолжительность впрыскивания, например в случае зависания иглы. Чтобы выполнить эту задачу, ограничитель при превышении максимально допустимого количества поступающего из аккумулятора топлива перекрывает магистраль к соответствующей форсунке.

### Устройство



Ограничитель расхода топлива (рисунок 17) состоит из металлического корпуса 5 с двумя наружными резьбами — для ввинчивания в аккумулятор высокого давления и для соединения с магистралью, ведущей к форсунке.

Рисунок 17 – Ограничитель расхода топлива (схема)

1-Канал со стороны аккумулятора высокого давления; 2-Ограничительная шайба; 3-Сердечник ограничителя; 4-Пружина ограничителя; 5-Корпус ограничителя; 7-Канал со стороны форсунки; 8-Седло сердечника ограничителя; 9-Дроссельное отверстие

Внутри ограничителя расхода топлива находится сердечник 3, который пружина 4 отжимает в направлении аккумулятора высокого давления. Сердечник уплотняется по стенке корпуса. Продольный канал, имеющий в сердечнике переменный диаметр, заканчивается поперечными перепускными дроссельными отверстиями 8 с точно подобранной пропускной способностью.

### Принцип действия

*Работа в обычном режиме (рис. 17 и 18)* В положении покоя сердечник 3 упирается в ограничительную шайбу 2. Открытие форсунки в момент впрыскивания топлива немного снижает давление в ведущей к ней магистрали.

В результате сердечник под действием потока топлива из аккумулятора смещается к форсунке (на рис. 3 — вниз), вытесняя при этом смещении некоторое количество топлива для поддержания необходимого давления в магистрали. Когда впрыскивание завершается, сердечник останавливается, не доходя до седла 7. Затем пружина 4 отжимает его назад в исходное положение против потока топлива, продолжающего перетекать к уже закрывшейся форсунке через дроссельные отверстия 8.

Параметры пружины и дроссельных отверстий подобраны так, что даже при максимальной подаче топлива (включая защитный резерв) сердечник способен вернуться в исходное положение, в котором пребывает до начала следующего цикла впрыскивания.

#### *Работа с большой утечкой топлива*

Если расход топлива при впрыскивании значительно превышает необходимый уровень, то под действием сильного потока топлива сердечник садится в седло и перекрывает доступ топлива к форсунке. До остановки двигателя сердечник остается в этом положении, а затем пружина возвращает его назад.

*Работа с малой утечкой топлива (рис 18)* Если расход топлива при впрыскивании незначительно превышает необходимый уровень, то после нескольких циклов впрыскивания сердечник ограничителя постепенно смещается к седлу, а затем точно так же, как и в случае с большой  $v$  течкой топлива, перекрывает подачу топлива к форсунке до остановки дизеля.

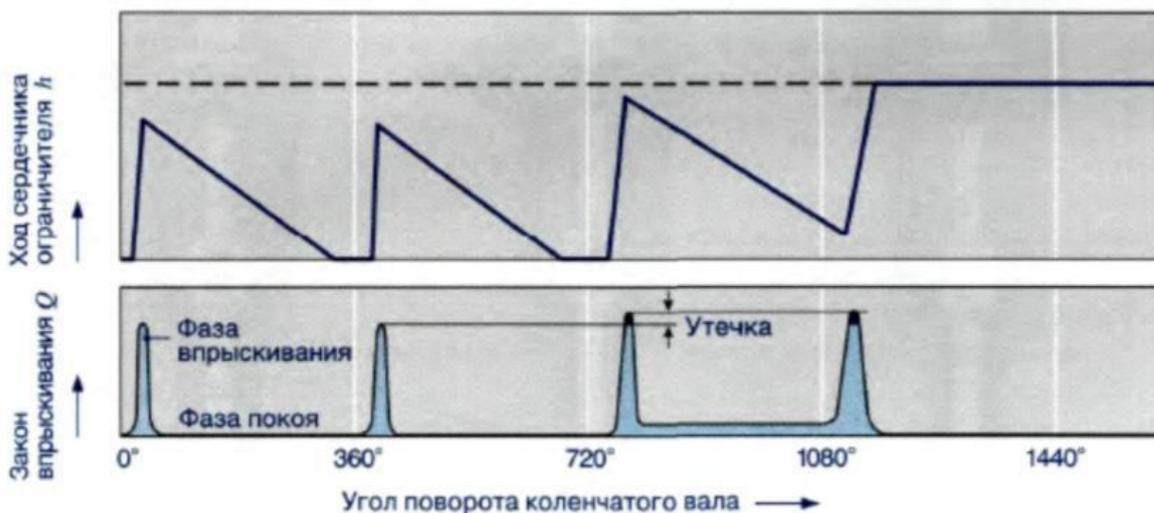


Рисунок 18 – Ограничитель расхода топлива (работа в обычном режиме и с малой утечкой топлива)

### 2.4.6 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 и

головке цилиндра. Тем самым допускается возможность установки форсунок системы Common Rail на дизели с непосредственным впрыском топлива без кардинальной модернизации головок.

### Назначение

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.

В дальнейшем планируется применение форсунок с пьезоэлементом вместо электромагнитного клапана.

### Конструкция

Форсунка состоит из следующих функциональных блоков:

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

Топливо подается по магистрали 9 высокого давления (рисунок 19а) 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.

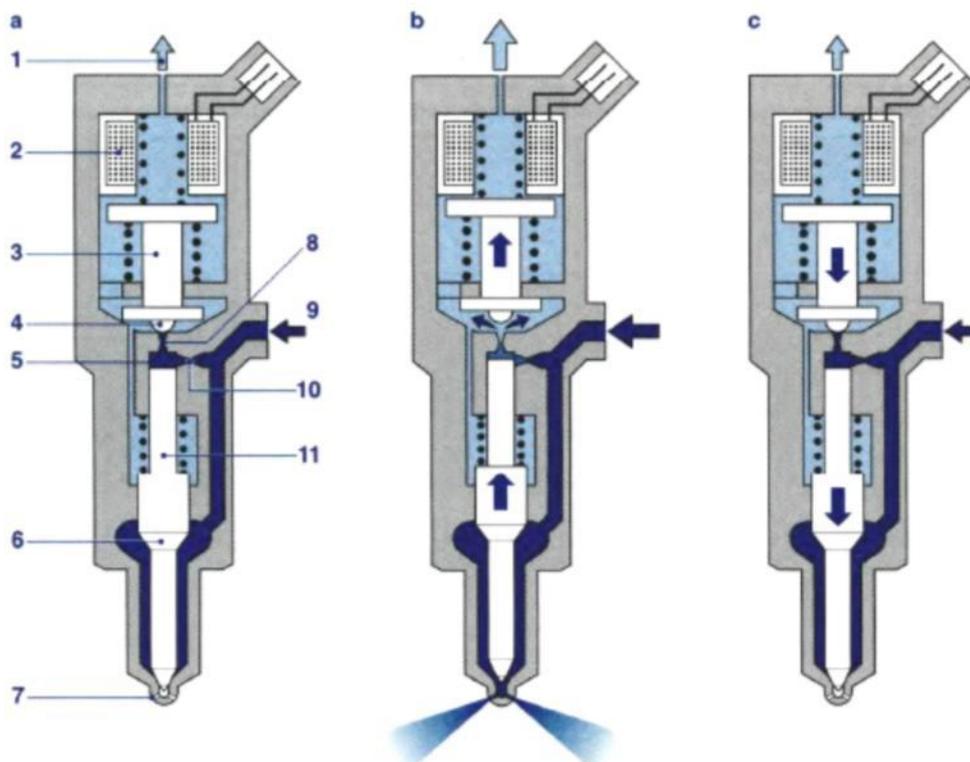


Рисунок 19 – Форсунка (принцип действия):

*a* - форсунка в состоянии покоя; *b* - форсунка открыта; *c* - форсунка закрыта  
1-Магистраль обратного слива топлива; 2-Катушка электромагнита; 3-Якорь

электромагнита; 4-Шарик клапана; 5-Камера управляющего клапана; 6-Конус иглы распылителя; 7-Отверстия распылителя; 8-Дроссельное отверстие отвода топлива; 9-Магистраль высокого давления; 10-Дроссельное отверстие подачи топлива; 11-Поршень управляющего клапана

При закрытом дроссельном отверстии 8 (рисунок 19а) 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 рисунок 19), открывая дроссельное отверстие 8 (рисунок 19b). 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 иглы 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.

### **Принцип действия**

Цикл работы форсунки можно разделить на четыре рабочих такта:

- форсунка закрыта (с подачей высокого давления);
- форсунка открывается (начало впрыскивания);
- форсунка полностью открыта;
- форсунка закрывается (конец впрыскивания).

Эти рабочие состояния определяются распределением сил в конструктивных элементах форсунки. При неработающем двигателе и отсутствии давления в аккумуляторе пружина прижимает иглу распылителя к седлу, закрывая форсунку.

*Форсунка закрыта (состояние покоя)* В состоянии покоя напряжение на электромагнитный клапан не подается (рис. 2а, с. 298».

Когда шарик 4 клапана прижимается пружиной к седлу (рис. 1а), дроссельное отверстие 8 закрыто. В камере управляющего клапана создается высокое давление. То же давление создается в камере распылителя. Сила давления на торцевую поверхность поршня управляющего клапана и сила пружины распылителя держат иглу распылителя в закрытом состоянии, сопротивляясь усилию, которое развивает топливо, давящее на конус 6 иглы

распылителя.

*Форсунка открывается (начало впрыскивания)*

Форсунка находится в состоянии покоя. В момент подачи на катушку электромагнита так называемого тока страгивания электромагнитный клапан быстро срабатывает (рис. 1b и 2b).

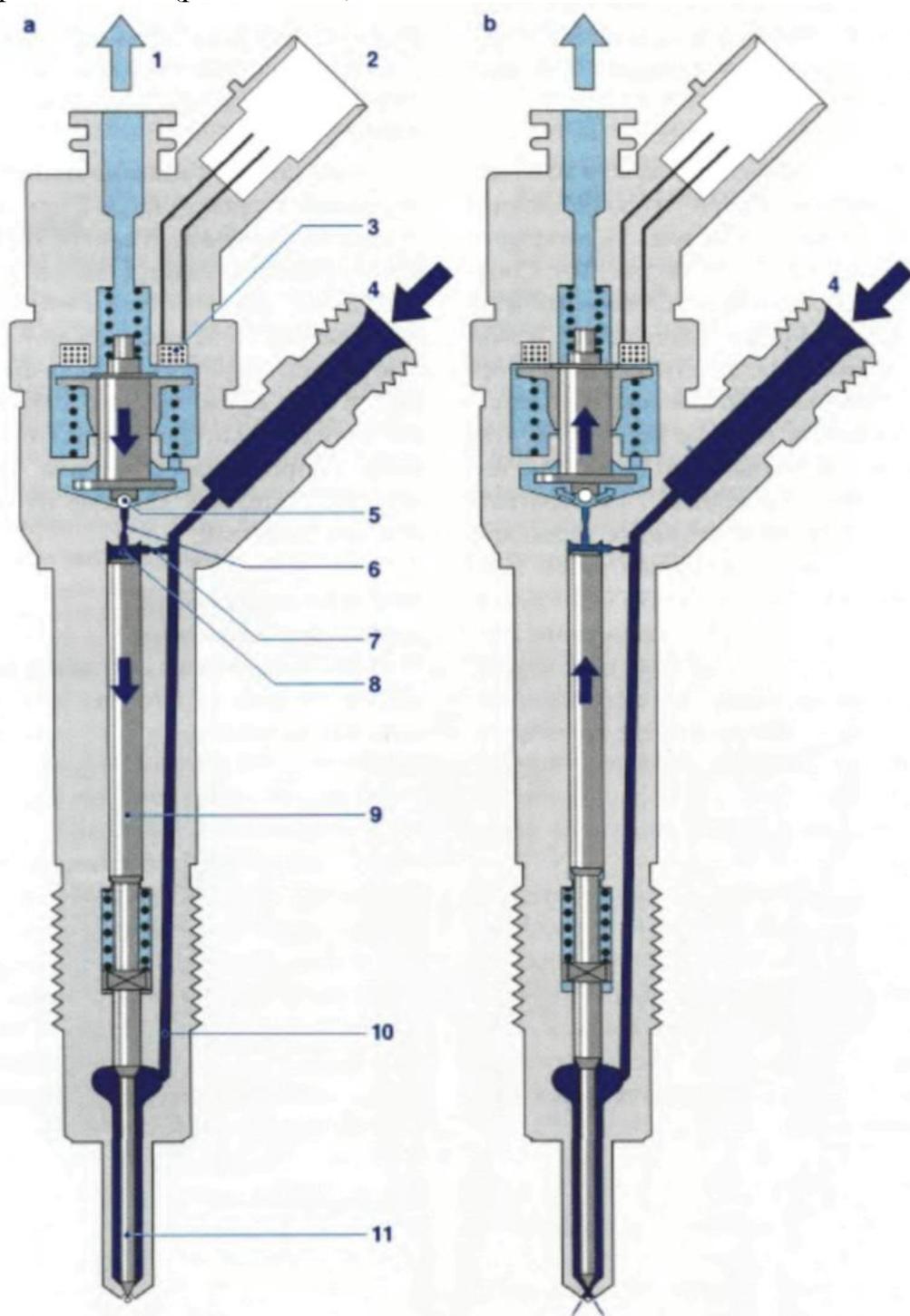


Рисунок 20 – Форсунка (схема)

а - форсунка закрыта (состояние покоя); б – форсунка открыта (впрыскивание)

1-Магистраль обратного слива топлива; 2-Штекер электрического подключения; 3-Электромагнитный клапан; 4-Магистраль высокого давления; 5-Шарик клапана; 6-Дроссельное отверстие отвода топлива; 7-Дроссельное отверстие подачи топлива; 8-Камера управляющего клапана; 9-Поршень управляющего клапана; 10-Канал подвода топлива к распылителю; 11- Игла распылителя

Малое время открывания форсунки может достигаться изменением соответствующих параметров в блоке управления форсунками. Усилие электромагнита преодолевает силу пружины, якорь сдвигается, и шарик клапана открывает дроссельное отверстие. Затем величина тока срабатывания снижается до величины тока удержания, которая гораздо меньше. Через дроссельное отверстие топливо из камеры управляющего клапана перетекает в магистраль обратного слива.

Дроссельное отверстие 7 подачи топлива (рис.20а) предотвращает полное выравнивание давления, благодаря чему давление в камере управляющего клапана снижается до меньшей величины, чем давление в камере распылителя. Пониженное давление в камере управляющего клапана и действие пружины, которая давит на поршень управляющего клапана, преодолеваются давлением в камере распылителя на конус иглы распылителя, за счет чего сдвигается поршень управляющего клапана вместе с иглой распылителя. Начинается впрыскивание топлива.

Скорость открытия распылителя определяется различием интенсивности потока топлива в дроссельных отверстиях 6 и 7. Поршень управляющего клапана достигает верхнего положения и опирается там на топливную подушку, возникающую из-за потока топлива между отверстиями 6 и 7. Теперь распылитель форсунки полностью открыт, и топливо впрыскивается в камеру сгорания под давлением, которое приблизительно соответствует давлению в аккумуляторе. В этот момент распределение сил в форсунке подобно распределению сил во время фазы открывания.

Количество впрыснутого топлива пропорционально времени включения электромагнитного клапана и не зависит ни от частоты вращения коленчатого вала двигателя, ни от режима работы ТНВД (впрыскивание, управляемое по времени).

Форсунка закрывается (конец впрыскивания) Когда электромагнитный клапан обесточивается, якорь силой пружины запирающего клапана прижимается вниз и шарик клапана запирает дроссельное отверстие 8 (рис. 19с). При этом диск якоря сжимает возвратную пружину, которая демпфирует действие пружины запирающего клапана с тем, чтобы избежать смятия седла при резкой посадке шарика клапана.

После перекрытия дроссельного отверстия отвода топлива давление в камере управляющего клапана вновь достигает той же величины, что и в аккумуляторе. Это повышенное давление смещает вниз поршень управляющего клапана вместе с иглой распылителя. Когда игла плотно примыкает к седлу распылителя и запирает его отверстие, впрыскивание прекращается. Скорость открытия отверстий распылителя определяется интенсивностью потока идущего через дроссельное отверстие подачи топлива.



Формат 60x84/16 Тираж 100  
Печать офсетная. Усл.п.л. 2,5

Подписано к печати 10.08.2020  
Заказ 802 Цена 48 руб

Издательство КГАУ/420015 г.Казань, ул.К.Маркса, д.65

Лицензия на издательскую деятельность код 221 ИД №06342 от 28.11.2001г.

Отпечатано в типографии КГАУ

420015 г.Казань, ул.К.Марксу д.65.

Казанский государственный аграрный университет