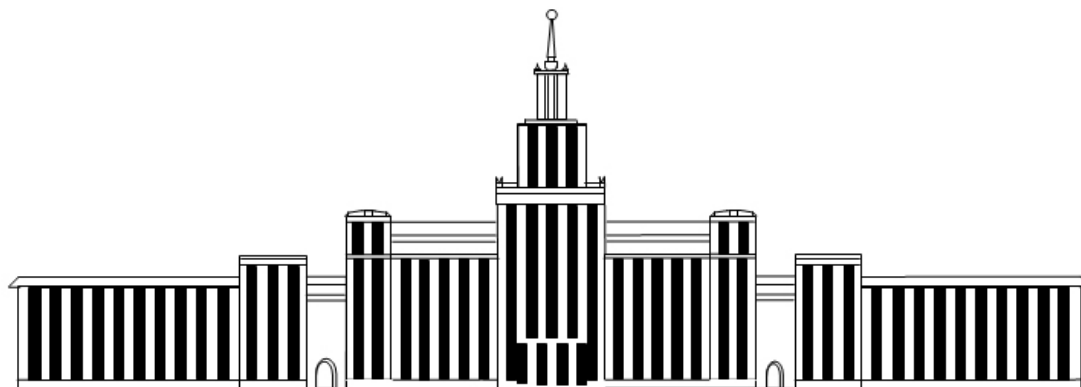


---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

---



---

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

629.113(07)

K782

В.В. Краснокутский, М.А. Русанов, И.П. Трояновская

## **СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Часть 3

Системы управления работой дизеля

Учебное пособие

Челябинск

2017

0

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Колесные и гусеничные машины»  
Кафедра «Автомобилестроение»

629.113(07)

К782

В.В. Краснокутский, М.А. Русанов, И.П. Трояновская

## **СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Часть 3

Системы управления работой дизеля

Учебное пособие

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2017

УДК 629.113(076.5)+629.114.2(076.5)

К782

*Одобрено  
учебно-методической комиссией автотракторного факультета*

*Рецензенты:  
Г.Н. Шитко, Е.Е. Баженов*

**Краснокутский В.В.**

К782 Системы питания дизельных двигателей. Часть 3: Системы управления работой дизеля: учебное пособие / В.В. Краснокутский, М.А. Русанов, И.П. Трояновская. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 86 с.

Учебное пособие предназначено для студентов всех форм обучения при подготовке бакалавров по направлению 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», а также специалистов по направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» по дисциплинам «Энергетические установки наземных транспортных средств», «Конструкция наземных транспортных машин». Пособие может быть полезным для студентов других специальностей, связанных с двигателестроением в автомобильной и тракторной отрасли.

УДК 629.113(076.5)+629.114.2(076.5)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Пособие составлено в соответствии с курсом дисциплинам по дисциплинам «Энергетические установки наземных транспортных средств», «Конструкция наземных транспортных машин», читаемой бакалаврам по направлению 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» и специалистов по направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

Пособие состоит из трех частей. Первая посвящена общим вопросам назначения и конструкции система питания дизельных двигателей. Вторая часть посвящена более детальному рассмотрению топливных насосов высокого давления. В третьей части рассмотрены вопросы регуляторов частот вращения, системы впрыска и электронное управление дизеля.

Пособие содержит шесть лабораторных работ. В конце каждой из них прилагаются вопросы для контроля усвоения материала и задания для самостоятельного выполнения.

Данная публикация является продолжением (часть 3), в которой рассмотрены регуляторы частоты вращения, система впрыска *Common Rail* и электронное управление работой дизеля. Для каждой системы рассмотрены следующие вопросы: назначение, классификация, устройство, принцип работы, основные регулировки и характерные неисправности.

## **ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ**

ТНВД – топливный насос высокого давления;  
ТПА – топливоподающая аппаратура;  
УОВТ – угол опережения впрыска топлива;  
ДВС – двигатель внутреннего сгорания;  
ВВ – вредные выбросы;  
ТП – топливоподача;  
САУ – система автоматизированного управления;  
КНД – контур низкого давления;  
КВД – контур высокого давления;  
ТПН – топливоподкачивающий насос;  
ФТО – фильтр тонкой очистки;  
ФГО – фильтр грубой очистки;  
ОГ – отработанные газы;  
КПД – коэффициент полезного действия;

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 РЕГУЛЯТОРЫ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ**

### **Цель лабораторной работы**

Уяснить назначение, изучить классификацию, устройство, принцип работы, основные регулировки и характерные неисправности регуляторов частоты вращения автотракторных двигателей; уметь производить их обслуживание.

### **Оборудование**

Картограммы, планшеты, натурные образцы и разрезы ТНВД и регуляторов двигателей *СМД, ЯМЗ, ЧТЗ, КамАЗ, Д-240, НД и BOSH.*

### **Последовательность выполнения работы**

1. Запишите в отчете цель работы.

2. Уясните назначение регуляторов, изучите их классификацию по способу регулирования, принципу действия, по количеству регулируемых режимов. Регуляторы, установленные на автотракторные двигатели, воздействуют либо на дроссельную заслонку, изменяя количество смеси, поступающей в двигатель (*количественное регулирование*), либо на дизелях изменяют количество подаваемого в цилиндр топлива при неизменном количестве воздуха для оборотов коленчатого вала (*качественное регулирование*). Каждый автоматический регулятор имеет чувствительный элемент, предназначенный для измерения регулируемого параметра. Если чувствительный элемент кинематически непосредственно связан с органом управления двигателями, то такой регулятор называется *регулятором прямого действия*. Такие регуляторы устанавливаются на автотракторные двигатели.

Если чувствительный элемент управляет промежуточным усилительным механизмом (сервомеханизмом), который связан с органом управления двигателя (рейка топливного насоса высокого давления (ТНВД), дроссельной заслонкой), то такой регулятор называется *регулятором непрямого действия*. Они устанавливаются на двигателях большой мощности (стационарных, тепловозных, судовых).

Процесс автоматического регулирования осуществляется путем измерения параметров ДВС, которые зависят от частоты вращения коленчатого вала. К таким параметрам относятся силы инерции грузиков регулятора, разрежение во впускном трубопроводе давление топлива после подкачивающего насоса, давление охлаждающей жидкости или масла после насосов системы охлаждения или смазочной системы двигате-

ля. Причем, чем больше частота вращения коленчатого вала двигателя, тем больше величина этих параметров. На этой основе созданы инерционные, пневматические и гидравлические регуляторы.

Наибольшее распространение в автотракторных двигателях получили центробежные и пневматические регуляторы.

Гидравлические, пневматические и центробежные регуляторы могут быть однорежимные и всережимные.

*Однорежимные регуляторы* устанавливаются на карбюраторные двигатели: автомобильные, пусковые двигатели мотоблоков и мотокультиваторов. Назначение этих регуляторов сводится к предотвращению повышения числа оборотов выше установленного. На автомобильных двигателях используются пневматические регуляторы. На пусковых двигателях, мотоблоках и мотокультиваторах инерционные регуляторы.

*Всережимные регуляторы* используются на автотракторных дизельных двигателях, в качестве которых используются инерционные. При помощи всережимного регулятора имеется возможность задать двигателю любой скоростной режим в заранее установленных пределах, изменяя силу упругости пружины регулятора.

3. Изучите принцип работы одно- и всережимного регуляторов. Дайте в отчете назначение и краткую характеристику регуляторов изучаемых двигателей в соответствии с классификацией. Начертите принципиальную схему одно- или всережимного центробежного регулятора.

4. Изучите устройства всережимного центробежного регулятора одного из изучаемых двигателей и его работу на характерных режимах: пуск двигателя; номинальная нагрузка, перегрузка, изменение нагрузки на дизель; остановка двигателя.

Уясните назначение устройство и работу пусковых обогатителей и корректоров подачи топлива. Все регуляторы имеют корректоры подачи топлива, но конструкция их различна. Обогажитель отсутствует только на регуляторах двигателей *ЧТЗ*. Ручное включение обогатителя применено только на насосах типа ТН, а на остальных автоматическое.

Кратко опишите в отчете назначение обогатителя и корректора. Начертите скоростную характеристику ТНВД как зависимость цикловой подачи топлива от частоты вращения кулачкового вала насоса. Отметьте на нем зоны работы регулятора и корректора, а также частоты вращения соответствующие: номинальной, минимальной, максимальной холостого хода цикловым подачам и полному выключению подачи топлива.

5. Изучите основные регулировки: начала работы регулятора, максимальной частоты холостого хода, цикловой подачи топлива на номинальном режиме, хода штока корректора, а также операции технического ухода за регулятором. Рассмотрите признаки и возможные причины характерных неисправностей регуляторов.

6. Уясните, что характеризуют такие показатели, как *степень нерав-*

номерности и степень нечувствительности инерционных регуляторов.

Нечувствительность регулятора обусловлена работой сил трения в механизме регулятора при перестановке рейки топливного насоса. Следовательно, для перестановки рейки необходимо затратить энергию равную работе трения, поэтому, чем меньше эта работа, тем чувствительней регулятор.

Если регулятор пришел в равновесие при числе оборотов вала двигателя, равном  $n$ , и если при изменении нагрузки в ту или иную сторону регулятор начнет действовать лишь при оборотах  $n_1$  и  $n_2$ , то показатель нечувствительности регулятора (*степень нечувствительности  $\varepsilon$* ) будет определяться по формуле:

$$\varepsilon = \frac{n_2 - n_1}{n}. \quad (1)$$

Степень нечувствительности регулятора  $\varepsilon$  для автотракторных двигателей не должна превышать 0,03.

*Степень неравномерности регулятора  $\delta$ :*

$$\delta = \frac{n_{xx} - n_{ном}}{n_{cp}}, \quad (2)$$

где  $n_{xx}$  – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу;

$n_{ном}$  – частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности двигателя;

$n_{cp}$  – средняя частота вращения коленчатого вала.

Для тракторных двигателей степень неравномерности регулятора  $\delta = 0,08 \dots 0,06$ . Запишите в отчете последовательность и параметры основных регулировок регулятора.

7. Получите задание на самостоятельную работу. Проверьте знание темы по контрольным вопросам.

#### **4.1. Регуляторы частоты вращения для рядных ТНВД**

Дизельный ТНВД при разных нагрузках и рабочих условиях в нужный момент всегда должен обеспечивать требуемую подачу топлива в двигатель. Кроме того, при фиксированном положении рейки ТНВД двигатель должен сохранять стабильную частоту вращения коленчатого вала. Для обеспечения этих условий дизель снабжается либо центробежным механическим, либо электронным регулятором частоты вращения коленчатого вала.



Механические регуляторы отличаются надежностью и удобством обслуживания.

Электронное регулирование работы дизеля может обеспечивать выполнение существенно более широких требований.

#### 4.1.1. Управление и регулирование

При управлении и регулировании один или несколько входных параметров определяют одну или несколько выходных величин (рис. 4.1).

При управлении (рис. 4.1a) действия зачастую неподконтрольны (отсутствует обратная связь между воздействием и выходными параметрами). Этот принцип используется, например, для определения величин пусковой подачи.

Отличием регулирования (рис. 4.1b) является замкнутость системы (так называемый контур регулирования). При этом производится постоянное сравнение текущих и заданных выходных параметров. Если между ними имеется несогласованность, происходит корректировка управления исполнительным механизмом. Преимущество этого вида регулирования состоит в том, что нарушающие равновесие внешние факторы постоянно находят отклик (например, при изменении нагрузки на двигатель или частоты холостого хода коленчатого вала).

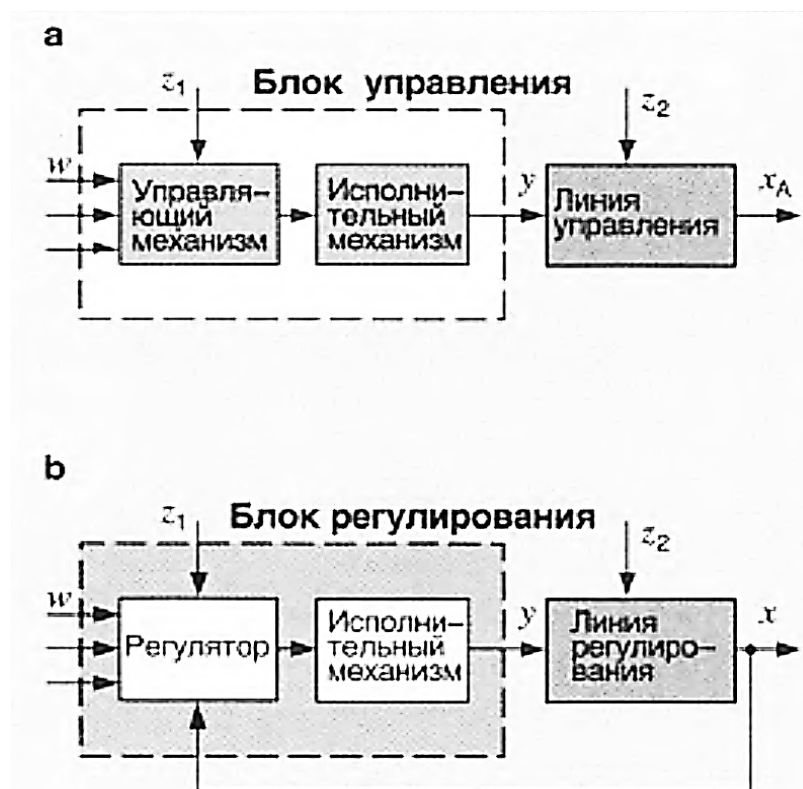


Рис. 4.1. Принципы управления и регулирования:  
 а – блок управления, б – блок регулирования

#### 4.1.2. Виды регуляторов

Постоянно растущие ограничения уровня эмиссии ОГ и требования по снижению расхода топлива обуславливают развитие систем впрыска и особенно конструкции регуляторов. В соответствии с различными задачами используются регуляторы перечисленных ниже видов:

- регулятор максимальной частоты вращения коленчатого вала. В его задачу входит ограничение максимальной частоты вращения коленчатого вала;
- двухрежимный регулятор. Кроме максимальной частоты вращения, он поддерживает также частоту холостого хода. Внутри диапазона частот вращения коленчатого вала изменение цикловой подачи происходит непосредственно с помощью педали газа. Этот тип регуляторов используется преимущественно на автомобилях;
- всережимный регулятор. Наряду с частотой холостого хода и максимальной частотой вращения осуществляет регулирование во всем диапазоне между ними;
- ступенчатый регулятор. Является комбинацией двух предыдущих.

#### Принцип работы регулятора

Все рядные ТНВД на каждый цилиндр двигателя имеют по одной плунжерной паре, состоящей из гильзы 8 (рис. 4.2) и плунжера 9. Вели-

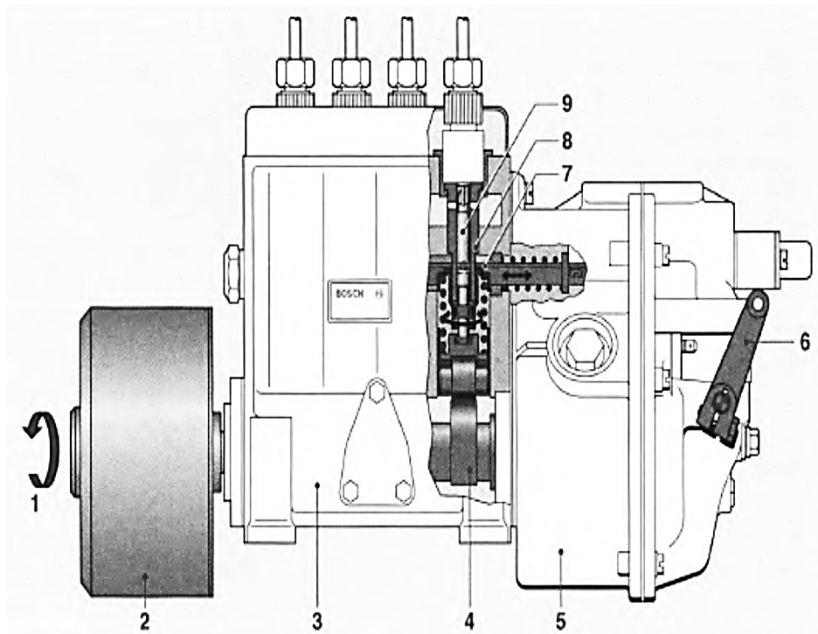


Рис. 4.2. Принцип работы регулятора:

1 – привода ТНВД, 2 – муфта угла опережения впрыскивания, 3 – картер ТНВД, 4 – кулачковый вал, 5 – корпус регулятора, 6 – рычаг управления, 7 – рейка ТНВД, 8 – гильза плунжера, 9 – плунжер

чина цикловой подачи изменяется поворотом плунжеров. Регулятор поворачивает с помощью рейки 7 сразу все плунжеры так, что цикловая подача может изменяться от нулевого до максимального значения. Ход рейки  $s$  ( $\leftrightarrow$ ) пропорционален величине цикловой подачи топлива и тем самым связан с крутящим моментом двигателя.

#### 4.1.3. Двухрежимный регулятор

##### Конструкция

Ступица 14 регулятора приводится во вращение через демпфер крутильных колебаний от кулачкового вала 18 ТНВД (рис. 4.3). На валу регулятора расположены оба центробежных груза 17 со своими кривошипами 13. В каждый из грузов встроено по пружинному седлу. Кривошипы переводят центробежное смещение грузов в продольное перемещение передвигающего валика 12, который передает его на ползун 10. Ползун, таким образом, через регулировочный рычаг 5 осуществляет связь между центробежным измерительным устройством (поз. 13, 15, 16, 17) и рейкой 7 ТНВД. Нижняя часть регулировочного рычага поворачивается в шарнирах ползуна, а на самом рычаге расположена направляющая кулисы. Сухарь 4 кулисы, соединенный с установочным рычагом 2, перемещается по этой направляющей. Установочный рычаг приводится в движение вручную или через систему тяг от педали газа. Под

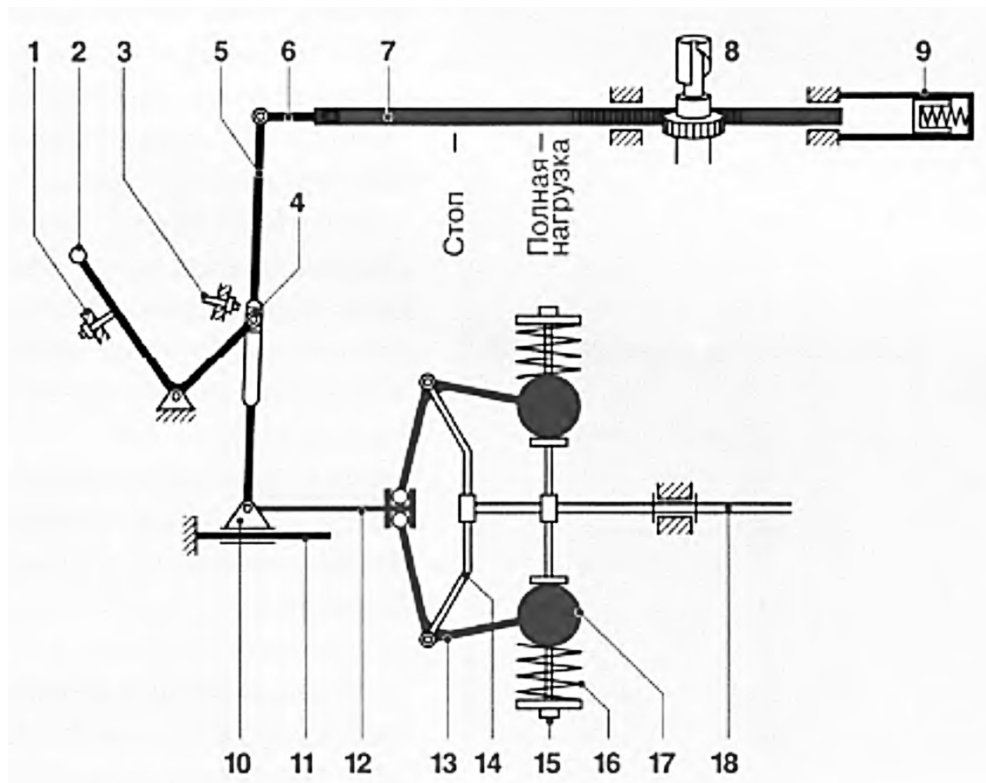


Рис. 4.3. Двухрежимный регулятор в положении СТОП

воздействием установочного рычага изменяется положение сухаря кулисы и регулировочный рычаг поворачивается вокруг оси на шарнирах ползуна. Благодаря этому изменяется ход рейки 7.

## Пуск двигателя

Инструкция по эксплуатации указывает, при каком положении педали газа следует производить пуск дизеля.

При выжатой педали можно обеспечить величину пусковой цикловой подачи, необходимой для пуска холодного дизеля при низкой наружной температуре. Для прогретого двигателя достаточна, как правило, величина цикловой подачи, которую обеспечивает установочный рычаг в положении холостого хода. В этом случае воздействие на педаль может привести лишь к нежелательному выбросу дыма (рис. 4.4–4.5).

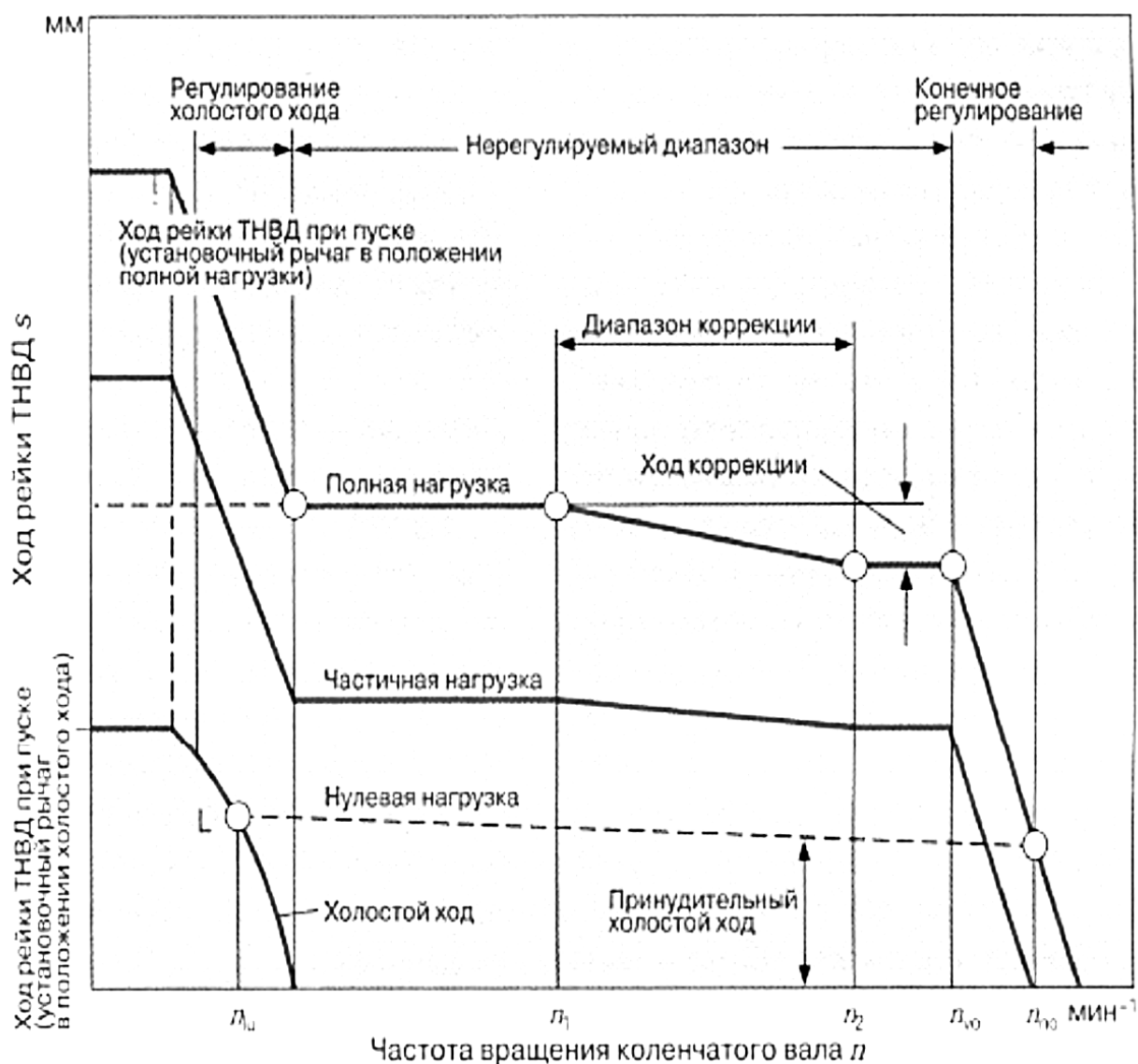


Рис. 4.4. Статическая характеристика двухрежимного регулятора

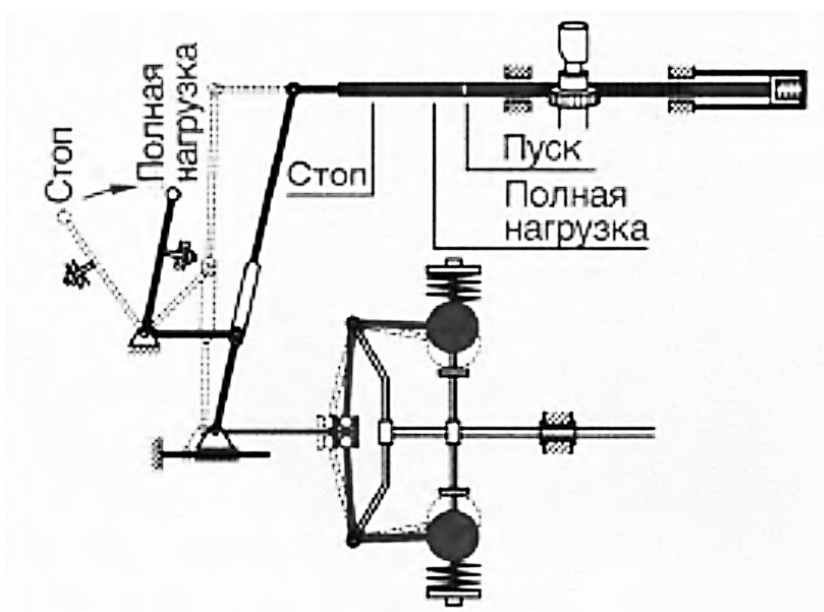


Рис. 4.5. Регулятор в положении холодного пуска

### Работа на разных режимах

Под режимом *холодного хода* (рис. 4.6) понимается минимальная частота вращения коленчатого вала, при которой двигатель может устойчиво работать без нагрузки. В этом случае преодолевается лишь внутреннее трение собственных деталей дизеля, а также внутреннее сопротивление вспомогательных агрегатов: генератора, топливоподкачивающего насоса, воздушного нагнетателя и т. д. В таком режиме расход топлива определяется положением рычага подачи топлива, как это описано выше.

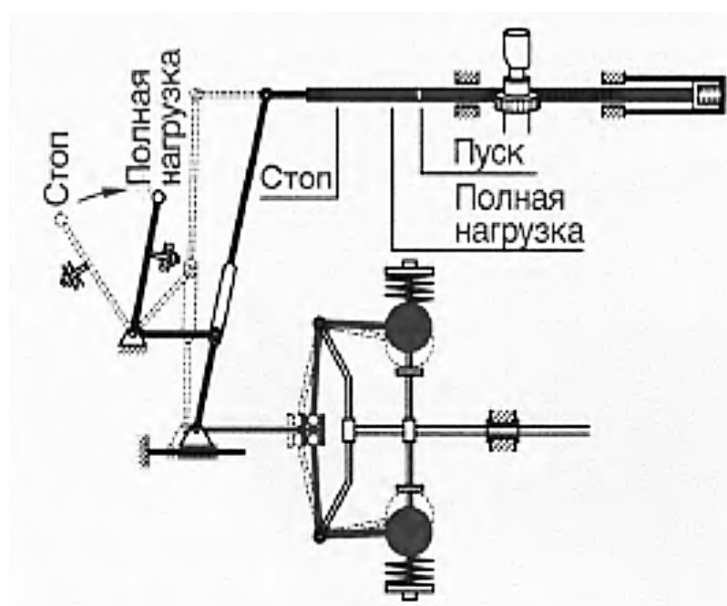


Рис. 4.6. Регулятор в положении холодного хода

После пуска двигателя при свободной педали газа установочный рычаг занимает положение холостого хода. Рейка ТНВД одновременно возвращается в положение, которое с момента пуска определяется работающим регулятором.

### Диапазон промежуточных режимов (частичных режимах)

Если при частичной нагрузке (т. е. в диапазоне между холостым ходом и полной нагрузкой, рис. 4.7) водитель нажимает на педаль акселе-

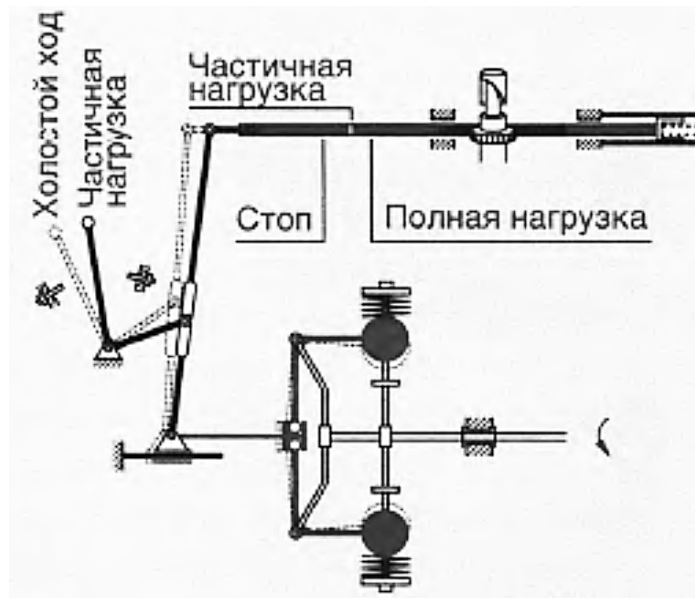


Рис. 4.7. Регулятор в положении частичных нагрузок

ратора, то частота вращения коленчатого вала увеличивается. Соответственно возрастает частота вращения ступицы регулятора, и центробежные грузы расходятся. Уже после незначительного превышения частоты вращения холостого хода центробежные грузы соприкасаются с тарелками пружин. При расхождении грузов их центробежная сила пересиливает усилие реакции пружины до тех пор, пока не будет достигнута максимально допустимая частота вращения коленчатого вала.

Только в этот момент усилие реакции пружины преодолевает центробежную силу грузов, не давая им разойтись дальше. Таким образом, регулятор стремится предотвратить критическое повышение частоты вращения. В то же время регулятор неэффективен в диапазоне промежуточных частот, в котором положение рейки ТНВД и связанную с этим диапазоном величину крутящего момента двигателя определяет водитель.

### Коррекция

В регуляторах имеется корректирующее устройство, встроенное в центробежные грузы, а именно между внутренней тарелкой 9, корректирующей пружины (рис. 4.8), и стаканом 8 пружины, на который

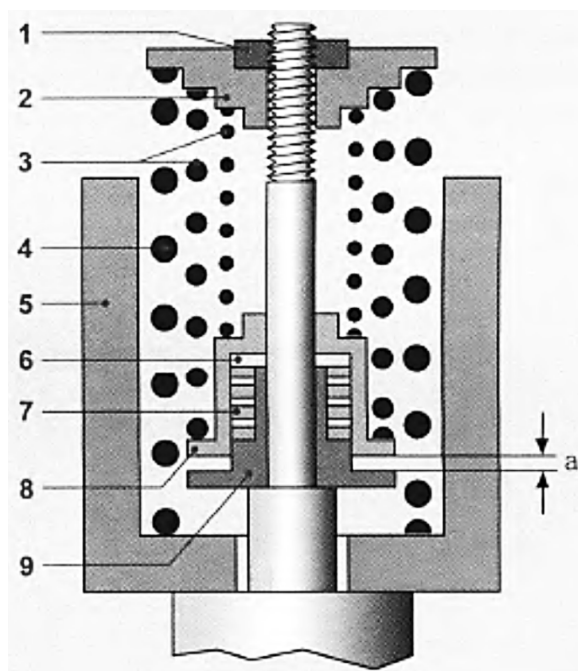


Рис. 4.8. Корректор двухрежимного регулятора

снаружи опираются обе пружины 3 регулирования максимальной частоты вращения.

Корректирующая пружина 7 помещена внутрь стакана 8. Расстояние между внутренней тарелкой пружины и ее стаканом считается ходом коррекции  $a$ . Его можно изменять путем подбора регулировочных шайб 6. Момент начала коррекции при частоте вращения  $n_1$ , определяется полем величин потребных расходов топлива.

Немного ниже максимальной частоты вращения  $n_2$ , корректирующая пружина сжимается так, что внутренняя тарелка пружины и стакан плотно стыкуются друг с другом. В диапазоне промежуточных частот вращения коленчатого вала, между холостым ходом и номинальной частотой вращения, регулятор без корректирующей пружины неэффективен. Благодаря тому что корректирующие пружины в диапазоне частот вращения между  $n_1$  и  $n_2$  сдвигаются, центробежные грузы могут расходиться только на величину хода коррекции, а рейка ТНВД перемещается соответственно в направлении положения «Стоп». Таким образом, осуществляется положительная коррекция.

### Максимальная частота вращения

Регулирование максимальной частоты вращения коленчатого вала начинается, если двигатель превышает значение номинальной частоты вращения  $n_n$ . В зависимости от положения установочного рычага этот момент может наступить при полной или частичной нагрузке на двигатель (рис. 4.9). При регулировании максимальной частоты вращения по-

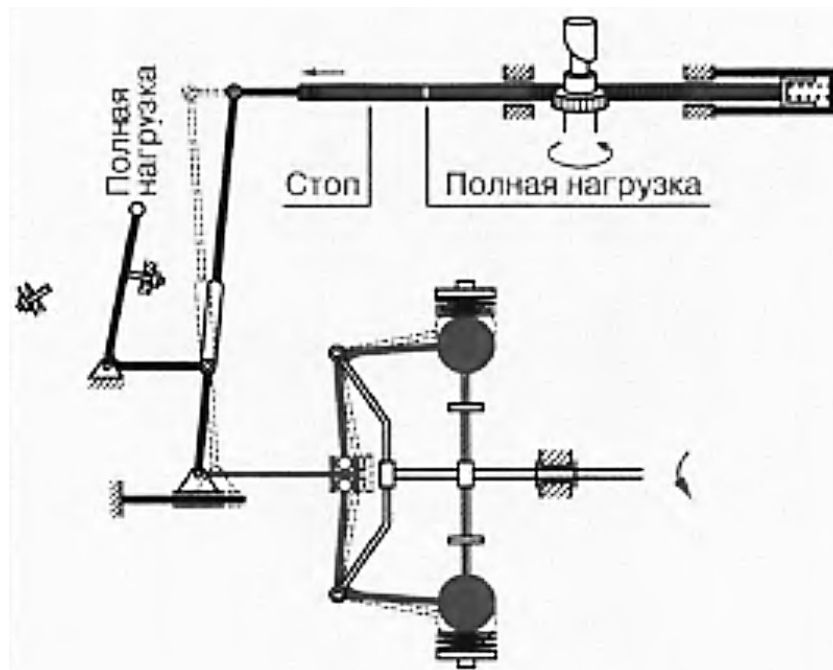


Рис. 4.9. Регулятор в положении полной нагрузки

положение рейки ТНВД зависит не только от водителя, но и от регулятора. Амплитуда расхождения центробежных грузов подобрана так, что при превышении номинальной частоты вращения коленчатого вала величина цикловой подачи снижается от максимального значения при полной нагрузке до значений нулевой подачи (отрицательная коррекция).

#### 4.1.4. Регулятор максимальной частоты вращения

Регулятор максимальной частоты вращения отличается от двухрежимного отсутствием регулировки холостого хода.

#### Работа на разных режимах

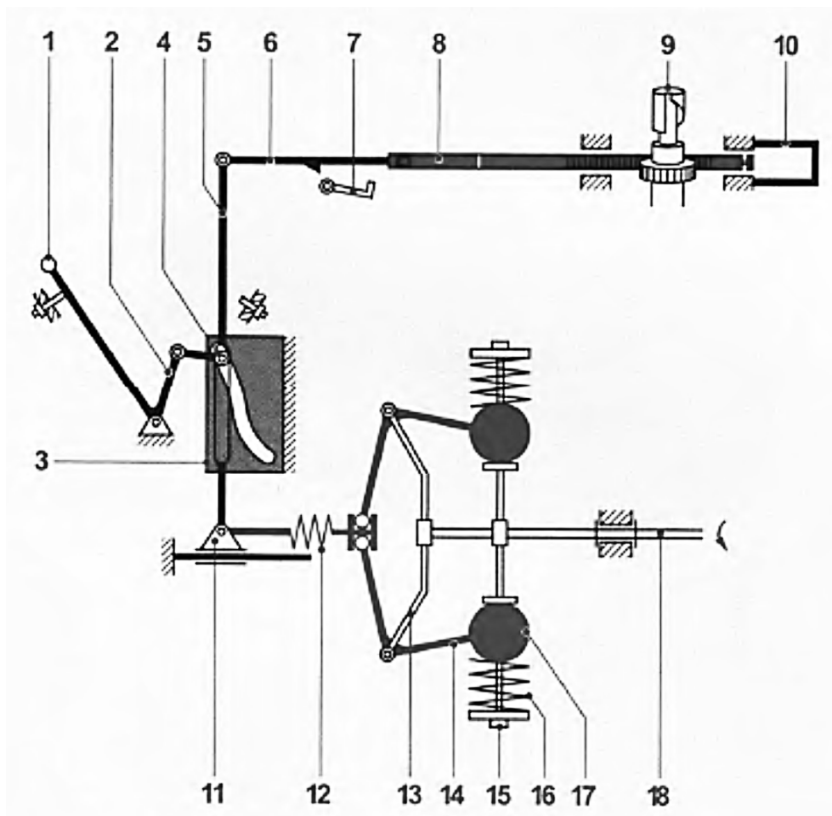
В эксплуатации регулятор максимальной частоты вращения действует, как двухрежимный регулятор на стадии ограничения максимальной частоты вращения. Регулирование начинается, когда коленчатый вал достигает максимальной частоты вращения, предельной для максимальной нагрузки на двигатель. Амплитуда расхождения центробежных грузов подобрана так, что величина цикловой подачи снижается от максимального значения при полной нагрузке до значений нулевой подачи (отрицательная коррекция).

#### 4.1.5. Всережимный регулятор

Всережимный регулятор (рис. 4.10) по модели подобен регуляторам двухрежимным: пружины встроены в центробежные грузы, которые при

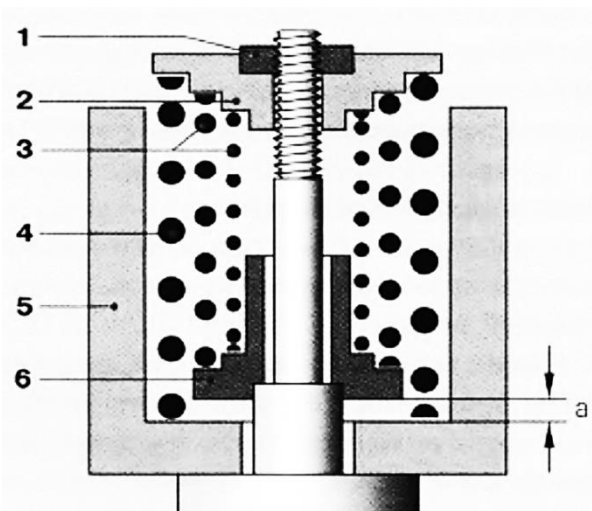


увеличивающейся частоте вращения расходятся, ограничивая частоту вращения коленчатого вала максимальными значениями предписанного выше установочного диапазона. Каждое положение рычага подачи топлива допускает определенную частоту вращения, при которой начинается регулируемое снижение оборотов.



*Рис. 4.10. Всережимный регулятор*

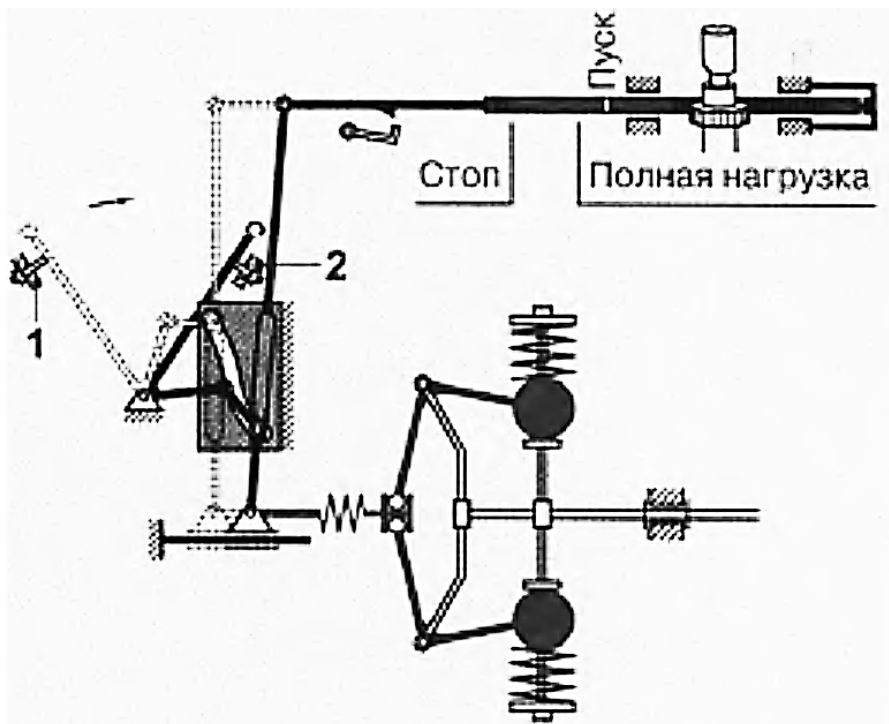
Движения установочного рычага 1 передаются через соединительный рычаг 2 и сухарь 4 кулисы на регулировочный рычаг 5 и затем — на рейку 8 ТНВД. Ось качания регулировочного рычага способна перемещаться по пазу плоского кулачка 3. Это позволяет изменять передаточное отношение механизма привода рейки ТНВД и, таким образом, более точно регулировать величину цикловой подачи на разных режимах работы двигателя. Подпружиненный передвижной валик 12 перемещает ползун 11 в зависимости от расхождения центробежных грузов, что также влияет на перемещение рейки ТНВД.



*Рис. 4.11. Центробежный груз регулятора*

Центробежные грузы регулятора подпружинены тремя винтовыми пружинами, вставленными друг в друга. Они расположены между центробежным грузом 5 и внутренней 6 и внешней 2 тарелками пружин с регулировочной гайкой 1 для предварительного натяжения пружин (рис. 4.11). Внешняя пружина 4 служит для регулирования холостого хода, после того как выбирается зазор *a* холостого хода, и центробежный груз упирается во внутреннюю тарелку пружин. С этого момента в работу вступают внутренние пружины 3 регулирования максимальной частоты вращения.

*Пуск двигателя* (рис.4.12). Если водитель при первом повышении



*Рис. 4.12 Регулятор в положении пуск*

частоты вращения коленчатого вала двигателя полностью нажимает на педаль акселератора, а рейка ТНВД остается в позиции пусковой подачи, пока не достигнута максимальная частота вращения коленчатого вала. Только после первого процесса снижения частоты вращения ограничитель полной подачи переходит в свое рабочее положение.

*Холостой ход* (рис. 4.13). После пуска дизеля, когда водитель отпускает педаль акселератора, установочный рычаг возвращается в положение холостого хода. Рейка ТНВД также возвращается в положение холостого хода, которое теперь устанавливается регулятором (пункт *L* на рис. 3.34).

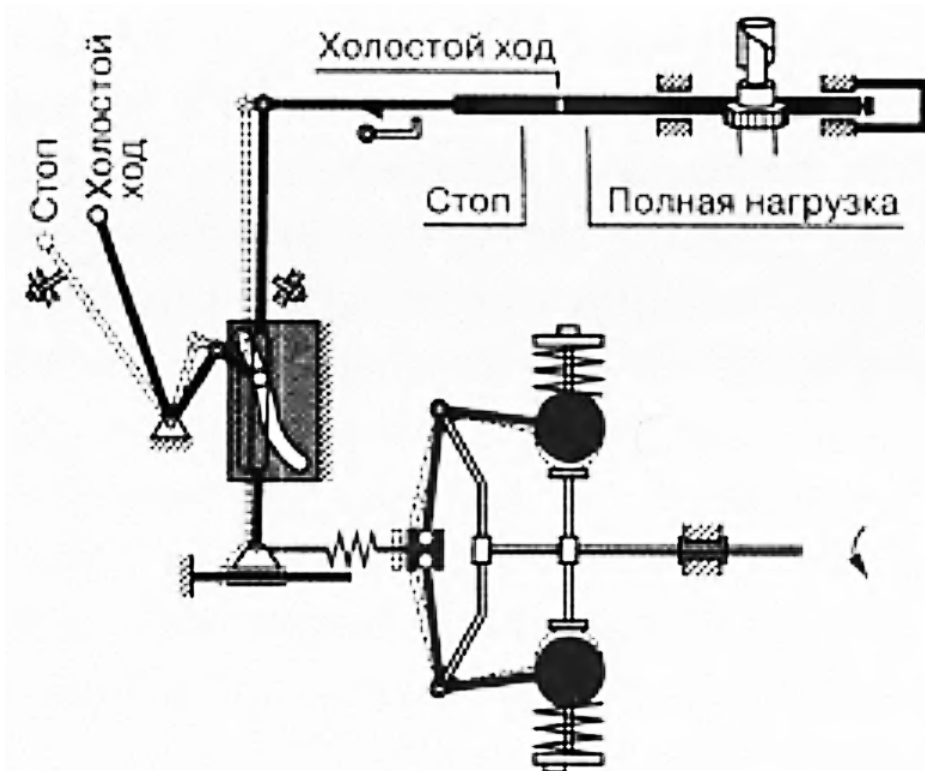
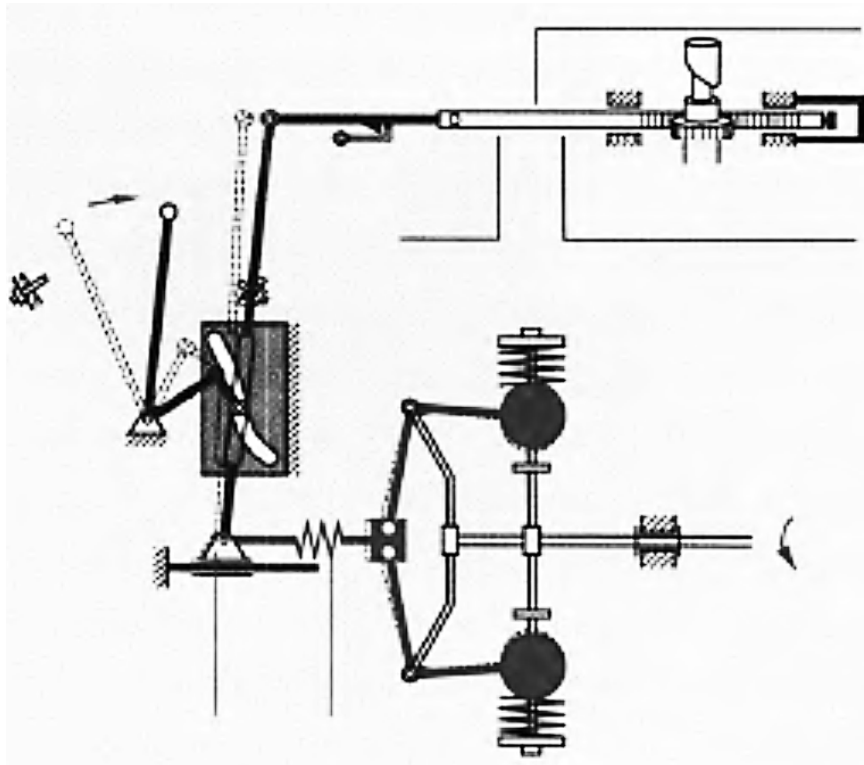


Рис. 4.13. Регулятор в положении холостого хода

### Диапазон промежуточных (частичных) режимов

Если при какой-либо частоте вращения коленчатого вала, заданной установочным рычагом (педалью газа), двигатель разгружается или нагружается, то эта частота вращения поддерживается всережимным регулятором путём увеличения или уменьшения величины цикловой подачи топлива в пределах границ, определенных характеристикой регулятора (рис. 4.14).



*Рис. 4.14. Регулятор в положении «ПУСК»*

### Пример

Водитель нажал на педаль, переведя ее из положения холостого хода в положение, которое должно соответствовать желаемой скорости автомобиля. Смещаясь, установочный рычаг передает усилие на регулировочный рычаг. Передаточное отношение последнего может быть различным и в области оборотов выше холостого хода настолько велико, что уже относительно малого перемещения установочного рычага или расхождения центробежных грузов достаточно, чтобы продвинуть рейку ТНВД до установленного упора полной нагрузки (участок  $L - B'$ , рис. 4.15). Следует учесть, что в этом случае должен быть использован лишь жесткий, а ни в коем случае не подпружиненный упор рейки ТНВД.

Дальнейший поворот установочного рычага вокруг своей оси ведет к натяжению пружины передвижного валика. Рейка ТНВД остается еще некоторое время в положении максимальной подачи, в результате чего частота вращения коленчатого вала быстро увеличивается (рис. 4.15 участок  $B' - B''$ ). Центробежные грузы при этом расходятся в стороны, однако рейка ТНВД остается в положении максимальной подачи до тех пор, пока тяговая пружина не разгружена. Только после этого центробежные грузы начинают действовать на регулировочный рычаг и рейка ТНВД смещается к положению «СТОП». Величина цикловой подачи уменьшается, и частота вращения коленчатого вала снижается. Данному

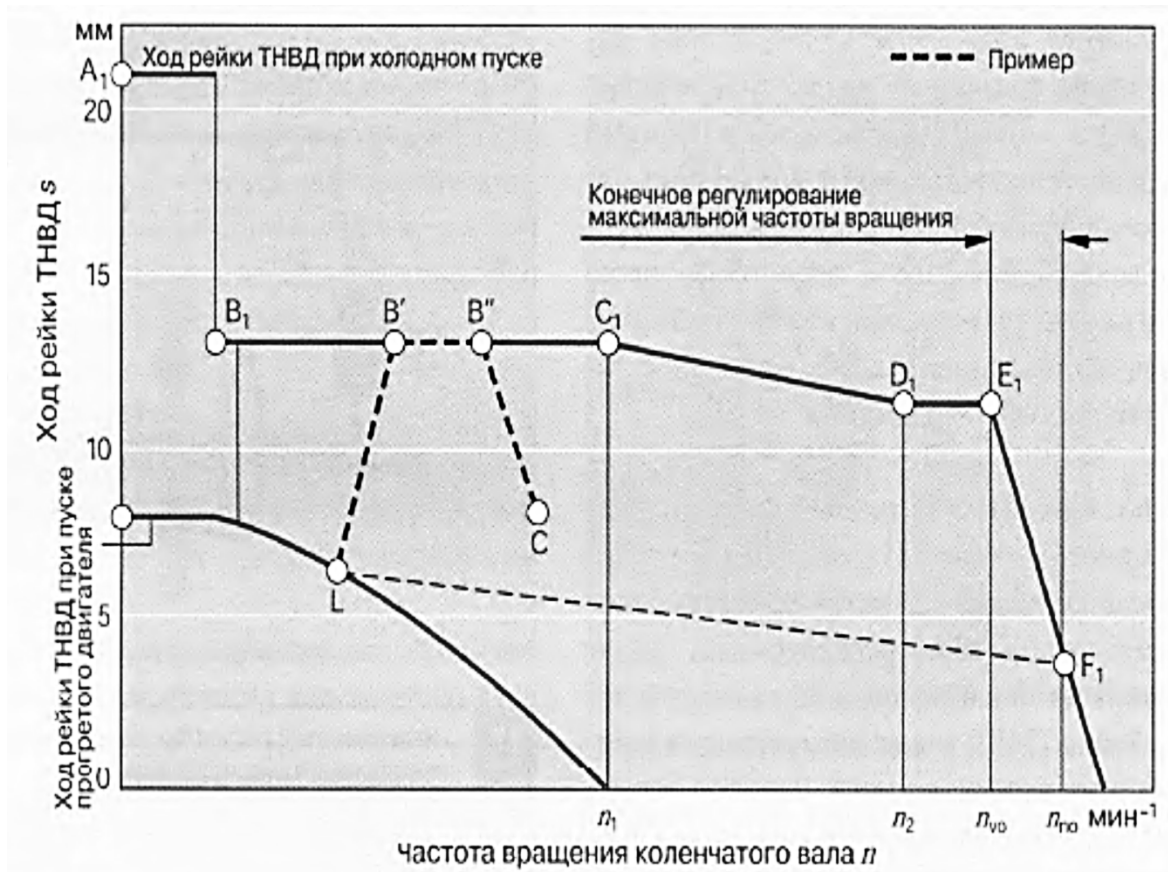


Рис. 4.15. Поле характеристик всережимного регулятора

положению установочного рычага и центробежных грузов соответствует режим работы двигателя, показанный на участке  $B'' - C$ .

Каждому положению установочного рычага во время работы дизеля соответствует совершенно определенный диапазон частот вращения коленчатого вала при условии, что двигатель не перегружен или в режиме принудительного холостого хода (торможения двигателем) не приводится от трансмиссии. Если нагрузка на дизель увеличивается, например, при движении в гору, то падает частота вращения коленчатого вала и вала регулятора. Из-за этого центробежные грузы сходятся к оси вращения и смещают рейку ТНВД в направлении увеличения подачи, в результате чего коленчатый вал сохраняет свою частоту вращения, которая определяется положением рычага подачи топлива и характеристикой регулятора. Если же рост нагрузки столь велик, что даже при смещении рейки в положение полной подачи частота вращения коленчатого вала продолжает снижаться, то центробежные грузы еще больше смыкаются и сдвигают передвигной валик влево, стремясь сдвинуть рейку ТНВД в направлении еще большей подачи. Однако поскольку рейка уже находится в положении полной подачи и далее сдвигаться не может, возрастает напряжение тяговой пружины. Это значит, что двигатель перегру-

жен, и водителю в этом случае следует переключиться на пониженную передачу. При движении под гору все происходит наоборот. Двигатель приводится от трансмиссии и частота вращения коленчатого вала возрастает. Центробежные грузы расходятся, и рейка передвигается вплоть до ограничителя положения «СТОП». Если частота вращения повышается еще больше (рейка ТНВД уже в положении «СТОП»), тяговая пружина нагружается в противоположном направлении.

Вышеописанное состояние регулятора относится, главным образом, ко всем положениям установочного рычага, когда нагрузка или частота вращения коленчатого вала по каким-либо причинам так сильно изменяется, что рейка ТНВД устанавливается в конечных положениях — максимальной подачи или «СТОП».

### Коррекция

Коррекция происходит между точками  $n_1$  и  $n_2$  (рис. 4.15) при полной нагрузке вдоль участка  $C_1-D_1$  регуляторе модели корректирующее устройство размещено в особом ограничителе рейки ТНВД или в специальной пластине.

### Максимальная частота вращения

Если двигатель перешел максимальную частоту (рис. 4.16) вращения коленчатого вала при полной нагрузке, начинается регулирование максимальной частоты вращения (участок  $E_1-F_1$ ). Центробежные грузы при этом расходятся, рейка ТНВД движется в направлении положения

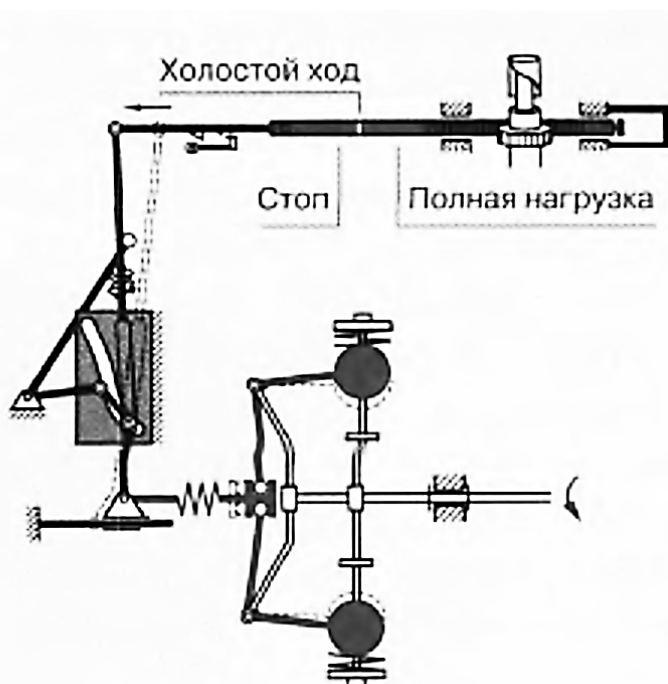


Рис. 4.16. Начало регулирования максимальной частоты вращения

«Стоп». При полной разгрузке двигателя, коленчатый вал развивает максимальную частоту вращения  $n_{no}$  при нулевой нагрузке.

## 4.2. Регулятор частоты вращения коленчатого вала распределительных ТНВД

После начала движения с повышением нагрузки двигатель не должен «глохнуть». Автомобиль при изменении положения педали газа обязан плавно ускоряться или замедляться. При удержании педали газа в заданном положении и на ровной дороге скорость автомобиля должна оставаться неизменной. При отпущенной педали газа должно происходить торможение автомобиля двигателем. Во всех этих случаях регулирование работы дизеля производит находящийся в распределительном ТНВД регулятор частоты вращения коленчатого вала.

Регулятор предназначен, прежде всего для ограничения максимальной частоты вращения коленчатого вала. Другими задачами, в зависимости от вида регулятора, могут являться поддержание частоты холостого хода, а также обеспечение работы двигателя либо в определенном диапазоне частоты вращения, либо на различных режимах во всем диапазоне между холостым ходом и максимальной частотой вращения.

### 4.2.1. Всережимный регулятор

Всережимный регулятор способен регулировать частоту вращения коленчатого вала на всем диапазоне работы дизеля. Перемещая с помощью педали газа установочный рычаг подачи топлива, водитель может установить любую частоту вращения и поддерживать её более или менее постоянной в зависимости от наклона характеристики (рис. 4.17).

Это особенно актуально в том случае, когда вспомогательные агрегаты (лебедка, водооткачивающая помпа, привод подъемного крана и т. д.) приводятся от автомобильного или стационарного дизеля. Тот же принцип используется в сельскохозяйственной технике (тягачи, комбайны).

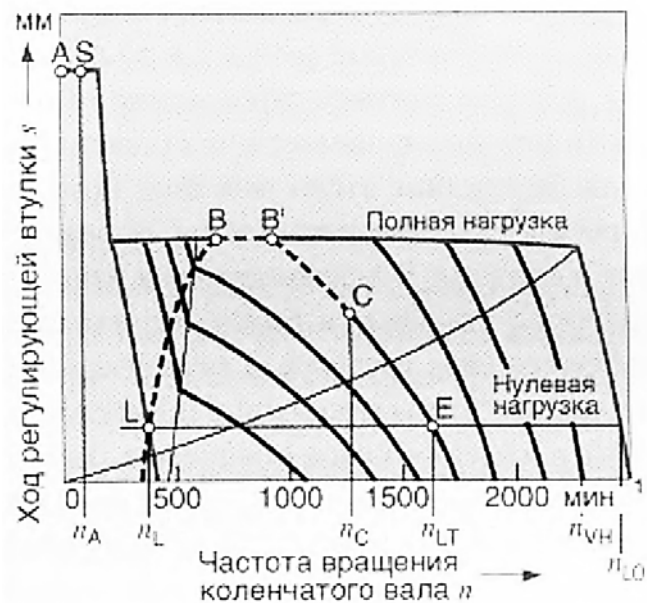
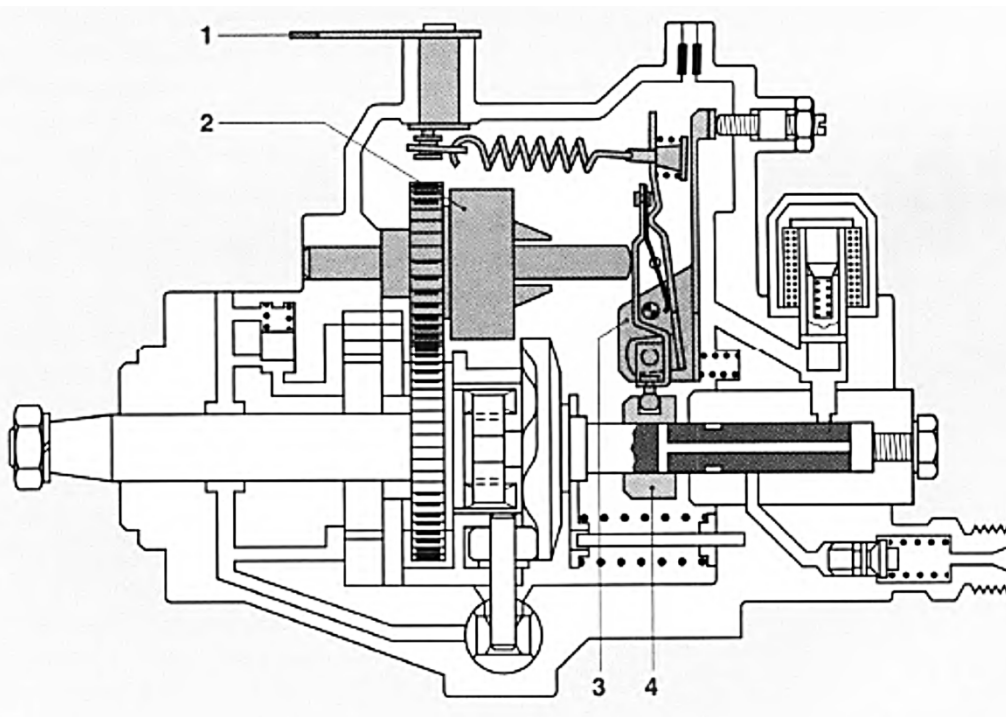


Рис. 4.17. Поле характеристик всережимного регулятора

## Конструкция

Крутящий момент передается от приводного вала на регуляторную группу, в которую входят центробежные грузы 2 и их корпус (рис. 4.18). При этом она вращается на оси 12 регулятора в корпусе ТНВД (рис. 4.19). Центробежные грузы 11 преобразуют свое радиальное перемещение в аксиальное движение скользящей втулки 10. Усилие и ход скользящей втулки влияют на работу рычажного механизма, который включает в себя натяжной 2, регулировочный 3 и пусковой 4 рычаги. Регулировочный рычаг может качаться в корпусе ТНВД и доходить до ограничителя 1 полной нагрузки. На этом рычаге точно так же могут качаться натяжной и пусковой рычаги. Последний в нижней части имеет шаровой палец, который соединен с дополнительной регулирующей втулкой 7 на плунжере.



*Рис. 4.18. Размещение регулятора в корпусе ТНВД*

На верхней части пускового рычага закреплена пусковая пружина 6. Верхняя же часть натяжного рычага служит местом для размещения удерживающего пальца 18, на который надета пружина 19 холостого хода. Кроме того, к этому же пальцу крепится пружина 17 регулятора. Промежуточный рычаг 13 и установочный рычаг 14 связаны между собой через валик 16 установочного рычага.

Взаимодействие усилий скользящей втулки 10 и нескольких пружин определяет результирующее положение рычажного механизма. Изменение этого положения вызывает смещение регулирующей втулки,



что, в свою очередь, определяет величину цикловой подачи (например,  $h_1$  или  $h_2$ ).

## Пуск

В момент пуска дизеля центробежные грузы и скользящая втулка центробежного регулятора находятся в положении покоя (рис. 4.19а). Пусковой рычаг оттянут пусковой пружиной в положение пуска, при этом он может свободно поворачиваться вокруг оси  $M_2$ . Одновременно регулирующая втулка под действием шарового пальца пускового рычага устанавливает плунжер-распределитель 9 в положение пусковой подачи. Это означает, что последний получает больший рабочий ход до момента перекрытия. При пуске, таким образом, обеспечивается пусковая цикловая подача (максимальный объем нагнетаемого топлива). Уже малой частоты вращения коленчатого вала достаточно, чтобы скользящая втулка 10 двинулась вперед, против действия пусковой пружины, полностью выбирая свободный ход  $a$ . Пусковой рычаг поворачивается при этом вокруг оси  $M_2$ , в результате чего пусковая подача сменяется подачей холостого хода.

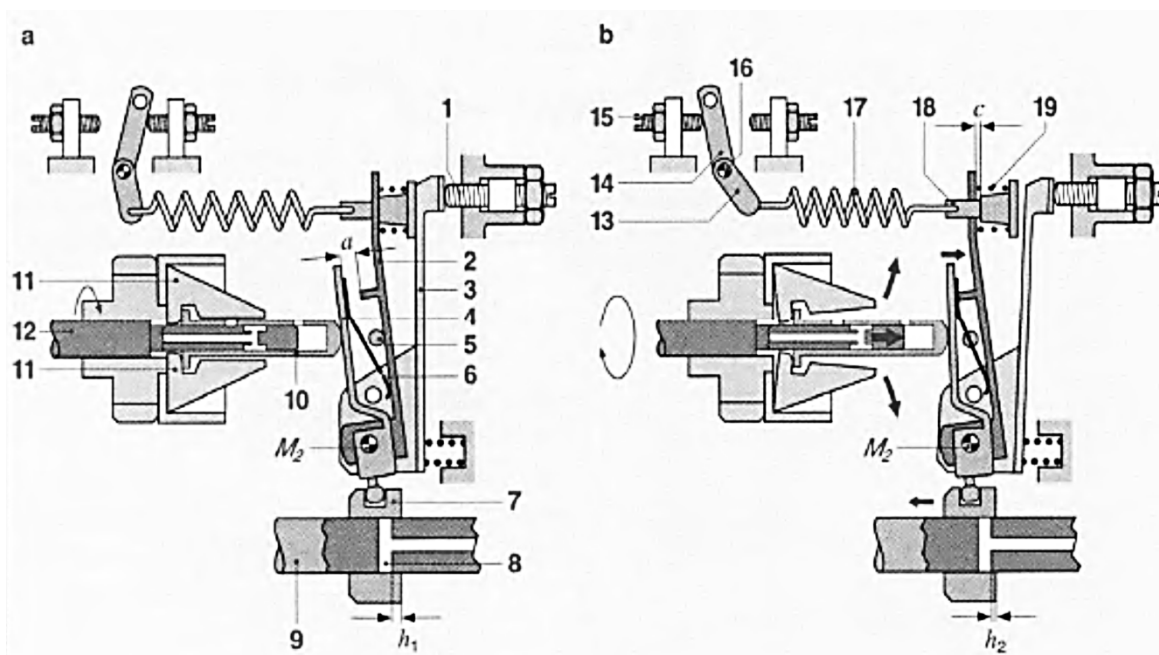


Рис. 4.19. Всережимный регулятор в положениях:  
а – пуска, б – холостого хода

## Регулирование холостого хода

После пуска дизеля (при отпущенной педали газа) установочный рычаг перемещается в положение холостого хода (рис. 4.19б), определяемое регулировкой ограничителя 15 холостого хода. Частота холостого

хода выбирается так, чтобы двигатель в ненагруженном или малонагруженном состоянии работал устойчиво. Регулирование осуществляется пружиной 19, расположенной на удерживающем пальце 18 и находящейся в равновесии с центробежными грузами. Это равновесие определяет положение регулирующей втулки по отношению к управляющему отверстию в плунжере–распределителе, т. е. фактически – рабочий ход плунжера. При частоте вращения выше заданной для режима холостого хода выбирается свободный ход пружины и, она начинает нагружаться. Таким образом, это ее положение соответствует нулевому положению.

Благодаря закреплению пружины 19 на корпусе регулятора можно отрегулировать режим холостого хода независимо от положения педали газа.

### Работа под нагрузкой

Во время работы дизеля установочный рычаг занимает определенное положение в зависимости от желаемой скорости автомобиля или изменения нагрузки на двигатель. Положение установочного рычага водитель залает соответствующим нажатием на педаль акселератора. Если частота вращения коленчатого вала в режиме холостого хода превышает необходимую величину, обе пружины – пусковая и холостого хода – нагружаются максимально. В связи с этим они уже не оказывают никакого влияния на регулирование частоты вращения – эта функция переходит к пружине 4 регулятора.

### Пример

Водитель, нажимая на педаль акселератора (рис. 4.20), выводит установочный рычаг 2 в то положение, которое соответствует желаемой

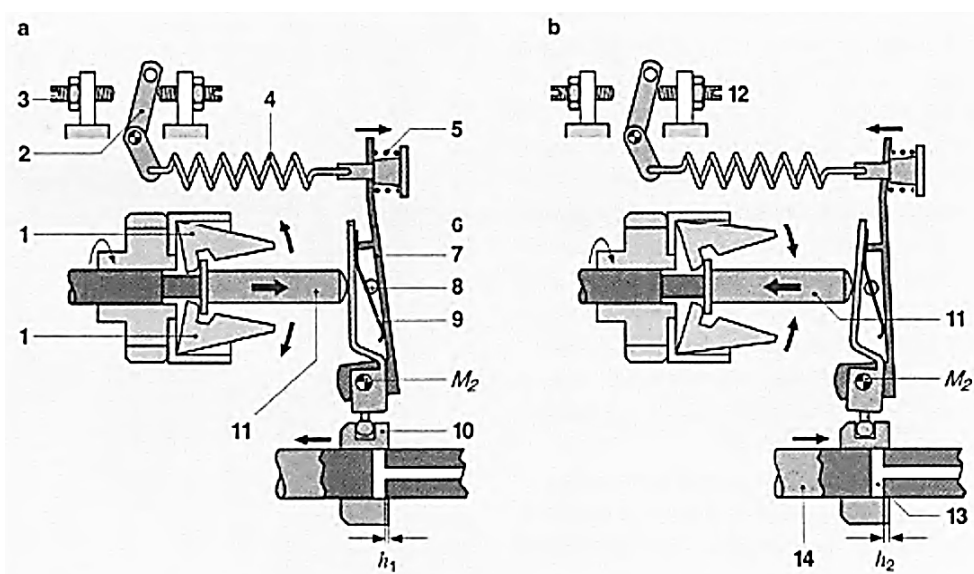


Рис. 4.20. Регулятор в диапазоне рабочих нагрузок

скорости или интенсивности разгона автомобиля. Вследствие этого действия пружина 4 регулятора нагружается на определенную величину. В результате сила действия пружины становится большей, чем центробежная сила грузов 1. В зависимости от усилия пружины пусковой 6 и натяжной 7 рычаги изменяют свое положение, поворачиваясь вокруг  $M_2$  и перемещали регулируемую втулку 10 в положение полной нагрузки. Таким образом, увеличивается величина цикловой подачи и повышается частота вращения. Центробежные грузы создают большое усилие, которое через скользящую втулку 11 центробежного регулятора противодействует усилию пружины регулятора. Регулирующая втулка остается в положении полной нагрузки до тех пор, пока сохраняется равновесие этих усилий. Если частота вращения вновь повышается, грузы расходятся и сила воздействия скользящей втулки преодолевает силу сопротивления пружины. Из-за этого пусковой и натяжной рычаги поворачиваются вокруг своей общей оси  $M_2$ , и сдвигают регулируемую втулку в положение «Стоп» таким образом, что управляющее отверстие плунжера-распределителя открывается раньше. Величина цикловой подачи может уменьшиться вплоть до нулевого значения, в результате чего частота вращения ограничивается. Пока двигатель не перегружен, каждому положению установочного рычага соответствует определенный диапазон частот вращения между полной и нулевой нагрузками. Отсюда следует, что регулятор частоты вращения в рамках своей характеристики устанавливает требуемый режим работы (рис. 4.21). Если нагрузка (например,

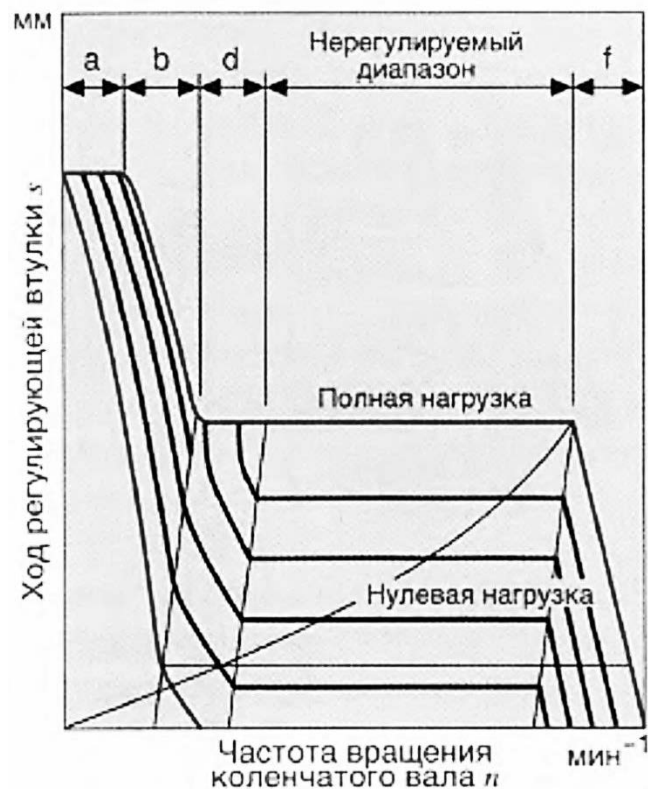


Рис. 4.21. Поле характеристик двухрежимного регулятора

на подъеме) так велика, что регулирующая втулка находится в положении полной нагрузки, а частота вращения падает, значит, двигатель перегружен. В этом случае величина цикловой подачи топлива не может более увеличиваться и водителю следует включить пониженную передачу.

### **Торможение двигателем**

При движении под уклон или при отпущенной на высокой скорости педали газа коленчатый вал приводится во вращение от трансмиссии автомобиля. Вследствие этого усилию скользящей втулки центробежного регулятора противодействуют усилия пускового и нагрузочного рычагов. Они изменяют свое положение и сдвигают регулирующую втулку в положение меньшей цикловой подачи до тех пор, пока последняя, не достигнет нулевого значения. В работе всережимного регулятора частоты вращения это может случиться при любом положении установочного рычага, если нагрузка или частота вращения по каким-либо причинам изменяются так сильно, что регулирующая втулка переходит в крайние положения – «Максимум» или «Стоп».

#### ***4.2.2. Двухрежимный регулятор***

Двухрежимный регулятор ограничивает частоту вращения коленчатого вала на двух частотных режимах – холостого хода и максимальных оборотов. В промежуточных положениях частота вращения регулируется непосредственно педалью газа. Вследствие этого достигается больший комфорт движения. Этот принцип, однако, не применяется на лёгких грузовиках со вспомогательным оборудованием.

### **Конструкция**

Конструкция регуляторной группы с центробежными грузами и расположение регулировочного рычага аналогичны уже описанным для всережимного регулятора. Отличие состоит в конструкции пружины 4 регулятора (рис. 4.22): она работает на сжатие, а не на растяжение, и имеет направляющий элемент 5. Связь между натяжным рычагом и пружиной регулятора осуществляется ограничителем 7.

### **Пуск двигателя**

Скользящая втулка 15 центробежного регулятора находится в исходном положении при неподвижных центробежных грузах 1. Пусковая пружина 12 через пусковой рычаг 9 и скользящую втулку регулятора давит на центробежные грузы в сторону их схождения. Регулирующая втулка 13 находится на плунжере–распределителе в позиции пусковой подачи.

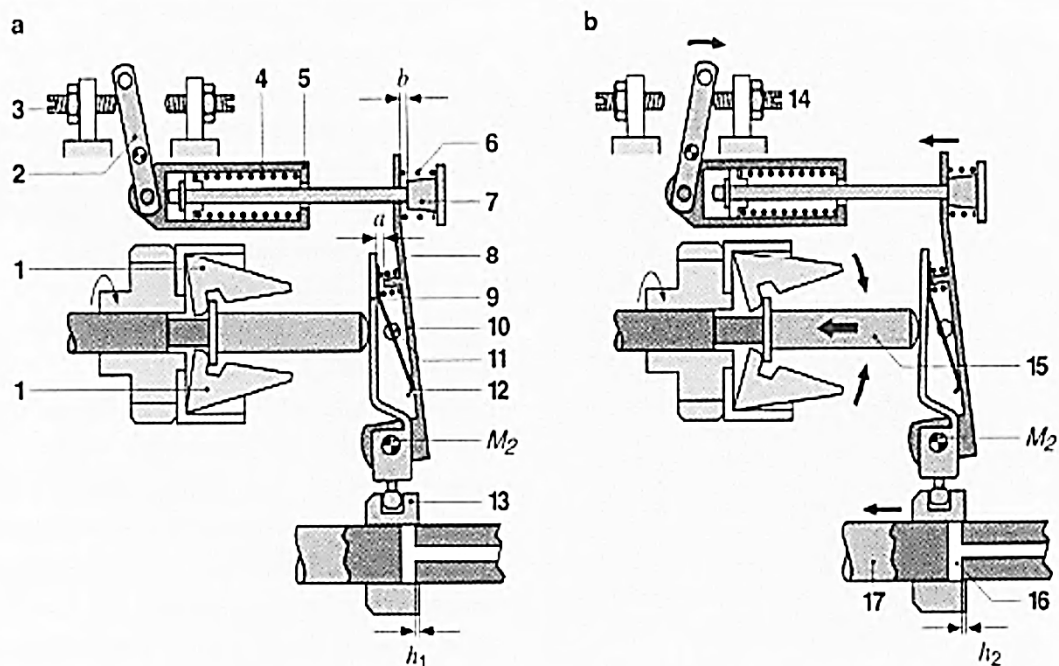


Рис. 4.22. Двухрежимный регулятор

### Регулирование холостого хода

После пуска двигателя при отпущенной педали газа установочный рычаг 2 под действием возвратной пружины, прикрепленной к корпусу ТНВД, перемещается в положение холостого хода. При повышении частоты вращения центробежная сила грузов возрастает (рис. 4.22а), и их выступы смещают скользящую втулку против действия пускового рычага. Регулирование частоты вращения происходит под действием пружины 8 холостого хода, давящей на натяжной рычаг 10. Поворотом пускового рычага регулирующая втулка продвигается в направлении меньшей цикловой подачи. При этом ее положение соответствует точке равновесия сил пружины и грузов.

### Работа под нагрузкой

Когда водитель нажимает на педаль акселератора, установочный рычаг перемещается на определенный угол. При этом действие обеих основных пружин – пусковой и холостого хода – прекращается, и в работу вступает промежуточная пружина 6. В двухрежимном регуляторе она рассчитана на мягкий переход к нерегулируемому диапазону. Если установочный рычаг продолжает движение в направлении полной нагрузки, промежуточная пружина сжимается до тех пор, пока натяжной рычаг не ляжет на ограничитель 7 (рис. 4.22b). Ход действия промежу-

точной пружины этим исчерпывается, и начинается нерегулируемый диапазон работы регулятора. Границы диапазона устанавливаются предварительным натягом пружины регулятора. Перемещение установочного рычага (или педали газа) теперь может передаваться непосредственно через механику регулятора на регулируемую втулку. Таким образом, устанавливается прямая связь между педалью газа и величиной цикловой подачи топлива. Если водитель хочет увеличить скорость или нагрузку на двигатель (при преодолении подъема), он должен еще сильнее нажать педаль акселератора. Если требуется меньшая мощность двигателя, водитель должен «сбросить газ», т. е. отпустить педаль.

Если при неизменном положении установочного рычага нагрузка на двигатель снижается, при постоянной цикловой подаче частота вращения коленчатого вала увеличивается. Центробежная сила растет, грузы давят на скользящую втулку против действия пускового и натяжного рычагов. Теперь, если предварительный натяг пружины регулятора от действия скользящей втулки становится сильнее, начинается конечное регулирование в пределах номинальной частоты вращения.

При полной разгрузке двигатель достигает максимальной частоты вращения в режиме холостого хода, и в результате предотвращается превышение максимально допустимой частоты вращения.

#### ***4.2.3. Регулятор промежуточных режимов***

Легковые автомобили, как правило, оснащаются комбинацией все-режимного и двухрежимного регуляторов. Такой агрегат имеет дополнительные пружины и действует в нижнем диапазоне частот вращения как все-режимный, а в верхнем диапазоне – как двухрежимный регулятор. При этом примерно до  $2000 \text{ мин}^{-1}$  поддерживается стабильная частота вращения коленчатого вала, после чего частота вращения ограничивается на режимах холостого хода и максимальных оборотов.

### 4.3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём заключаются принципы регулирования и управления?
2. Виды регуляторов частоты вращения коленчатого вала дизеля?
3. Принцип работы регулятора.
4. Двухрежимный регулятор в положении стоп.
5. Двухрежимный регулятор в положении стоп.
6. Двухрежимный регулятор в положении пуск.
7. Двухрежимный регулятор работа на разных режимах.
8. Назначение корректора.
9. Двухрежимный регулятор в положении полной нагрузки.
10. Регулятор максимальной частоты вращения работа на разных режимах.
11. Всережимный регулятор в положении пуск.
12. Работа всережимного регулятора на разных режимах.
13. Работа регулятора при торможении двигателем.
14. Регулятор промежуточных режимов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### СИСТЕМА ВПРЫСКА *COMMON RAIL*

#### Цель лабораторной работы

Уяснить назначение, изучить классификацию, общее устройство, принципы работы, основные регулировки и характерные неисправности аккумуляторных систем питания; уметь производить регулировки и обслуживание систем питания; знать технические их характеристики.

#### Оборудование

Картограммы, планшеты, натурные образцы и разрезы приборов аккумуляторных систем питания двигателей; топливные насосы и форсунки фирмы *BOSH*.

#### Последовательность выполнения работы

1. Запишите в отчет цель работы

2. Изучите требования, классификацию и общее устройство аккумуляторных систем питания автотракторных двигателей. При этом обратите внимание на работу следующих подсистем: хранения, очистки и подачи топлива, очистки и подачи воздуха, выпуска отработанных газов и системы противотоксичных устройств.

3. Уясните работу аккумуляторных систем питания дизельного двигателя и, расположение их приборов на тракторе и автомобиле, дайте им сравнительную оценку.

Начертите в отчете принципиальные схемы систем питания 3.  
4. Уясните назначение, изучите классификацию, устройство и работу приборов систем питания.

*Требования к системам впрыска дизельного топлива постоянно растут.* Более высокие давления впрыскивания, повышенные скорости срабатывания форсунок и гибкое адаптирование процесса впрыска 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.



## 5.1. Применение система *Common Rail*

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 Нм) до восьмицилиндровых (3900 см<sup>3</sup>, 108 кВт (245 л.с), 560 Нм);
- легкие грузовые автомобили: двигатели мощностью до 30 кВт на цилиндр;
- тяжелые грузовые автомобили, тепловозы и суда: двигатели мощностью до 200 кВт на цилиндр.

*Система Common Rail позволяет обеспечить более широкие, в отличие от вариантов с механическим приводом ТНВД, требования по впрыску топлива, а именно:*

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

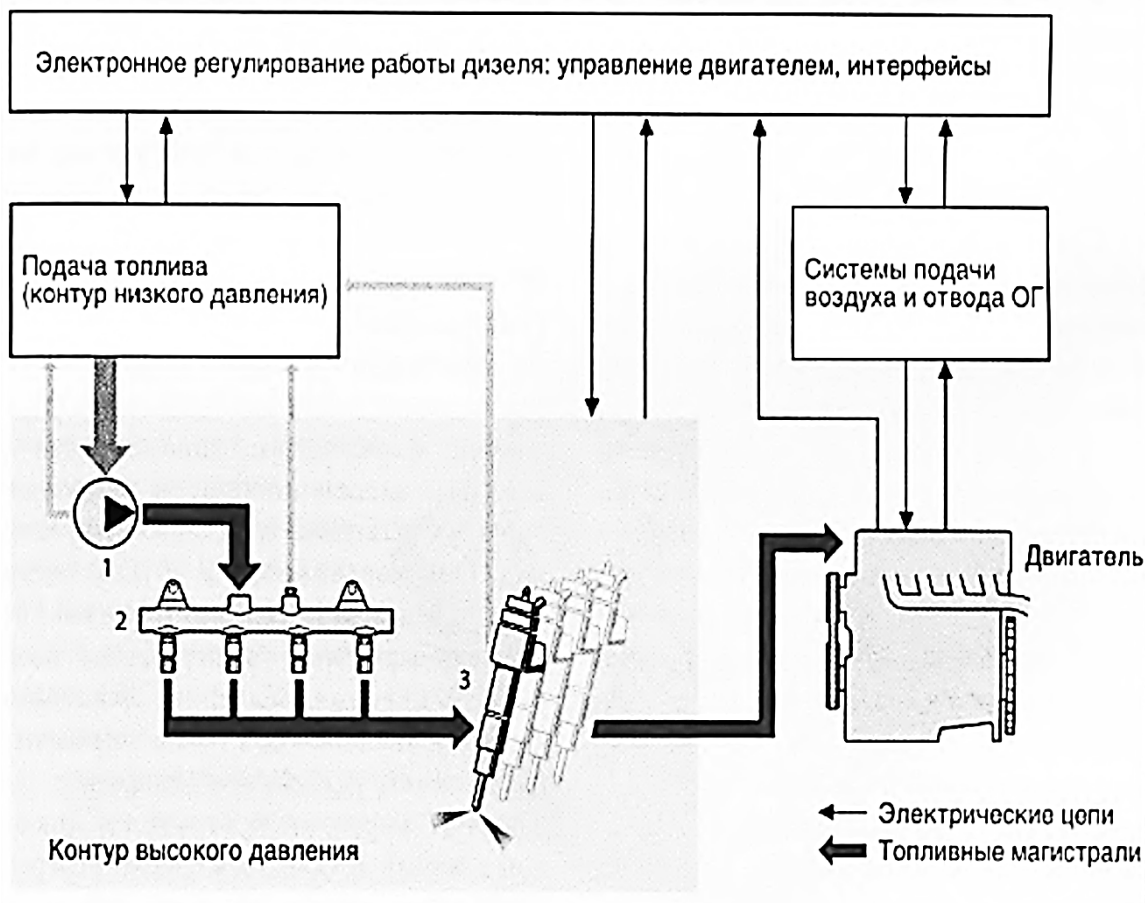
Вместе с тем, аккумуляторная система создает важнейшие предпосылки для повышения удельной мощности, снижении расхода топлива, а также для уменьшения уровней шума и выбросов ОГ.

## 5.2. Конструкция

Аккумуляторная система *Common Rail* включает в себя (рис. 5.1):

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

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



*Рис. 5.1. Система впрыска Common Rail:*

*1 – ТНВД, 2 – топливный аккумулятор высокого давления, 3 – форсунки*

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

### **5.3. Принцип действия**

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

#### **5.3.1. Создание высокого давления**

Непрерывно работающий ТНВД с приводом от дизеля создаст требуемое давление впрыскивания, обеспечивая некую постоянную величину давления в топливном аккумуляторе, независимо от частоты вращения коленчатого вала и расхода топлива. Это означает, что ТНВД работает в постоянном режиме, с меньшими пиками крутящего момента и меньшей пиковой производительностью, чем в традиционных системах

впрыска. Соответственно, его размеры также могут быть существенно компактнее.

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

### **5.3.2. 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).

### **5.3.3. Управление и регулирование**

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

- 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 распределитель-

ного 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.

#### **5.3.4. 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.

#### **5.3.5. 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 перераспределяться между блоками (например, опрос датчиков).

### **5.3.6. Системы рециркуляции и очистки ОГ**

#### **Управление рециркуляцией ОГ**

Легковые автомобили Рециркуляция отработавших газов является эффективным средством для уменьшения уровня выбросов NON в ОГ. Часть ОГ через перепускной клапан направляйся 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.

### **5.3.7. Очистка ОГ**

Очистка ОГ становится весьма актуальной для соответствия все более жёстким требованиям по параметрам ОГ. Это относится прежде всего к легковым и тяжелым грузовым автомобилям. 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 фракции;
- различные фильтры частиц задерживают сажевые частицы в ОГ (например, существует система фильтрации частиц с непрерывным регенерированием);
- каталитический нейтрализатор уменьшает содержание NO<sub>x</sub>. В настоящее время этот агрегат адаптируется для применения на дизелях легковых автомобилей;
- селективный нейтрализатор уменьшает содержание NO<sub>x</sub> 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 NON, СН и СО, а также частиц сажи. Эти системы, однако, требуют очень точного управления работой дизеля.

### **Системная схема для грузового автомобиля**

На рис. 5.2 показаны все агрегаты аккумуляторной системы впрыска, установленной на шестицилиндровом дизеле грузового автомобиля в полной комплектации.

#### *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 раскола воздуха
16. 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)*

#### **22. ТНВД**

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

- 23. Топливоподкачивающий насос**

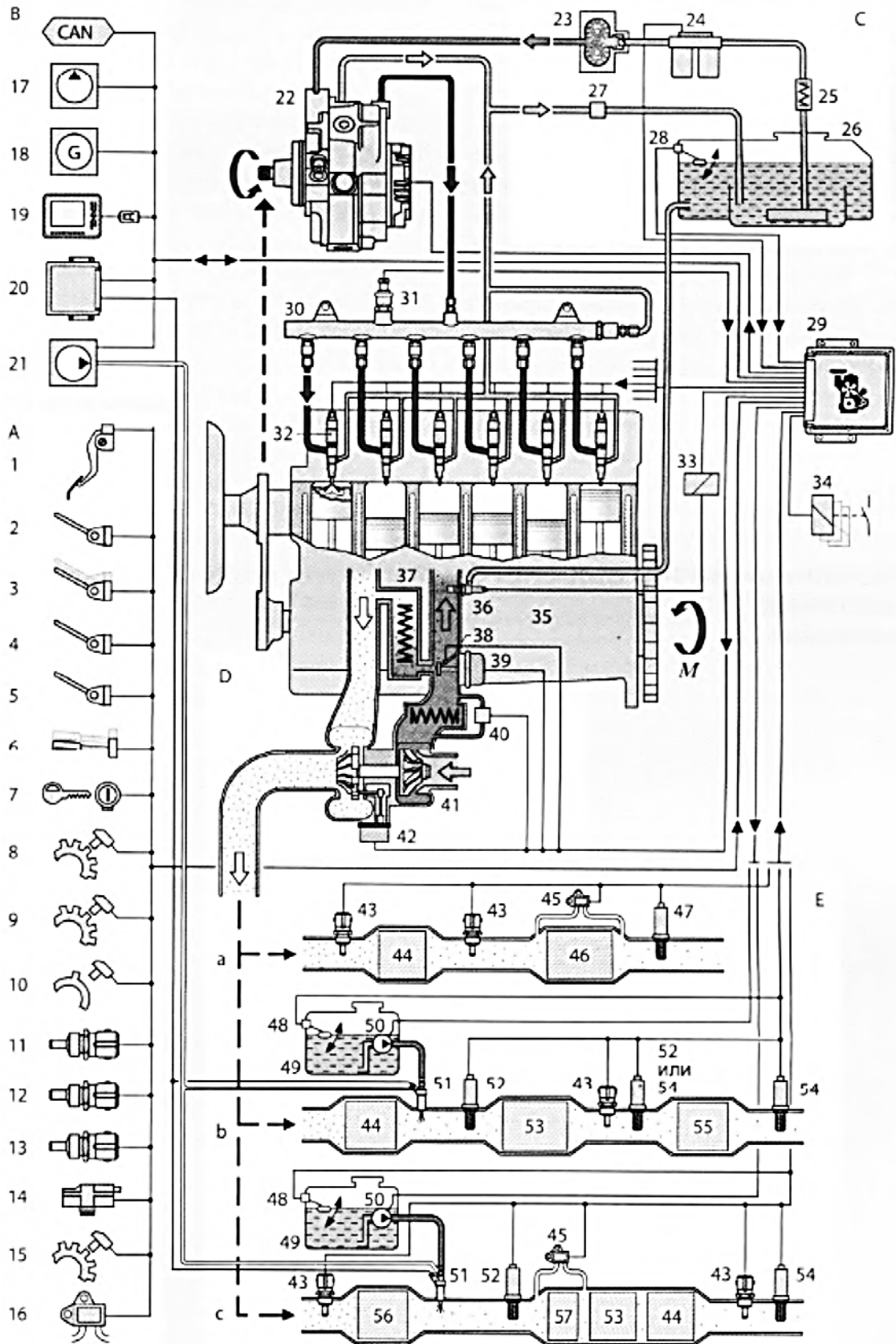


Рис. 5.2. Агрегаты аккумуляторной системы впрыска грузового автомобиля

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

*Двигатель, его система управления и агрегаты контура высокого давления:*

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, тормоззамедлитель, заслонка моторного тормоза, стартер, вентилятор)
35. Дизель
36. Штифтовая свеча накаливания (альтернатива сетке накаливания)

*M – крутящий момент*

*O – Снабжение воздухом:*

35. Охладитель рециркулирующих ОГ
36. Регулировочная заслонка
37. Регулятор рециркулирующих ОГ с клапаном и датчиком позиционирования
38. Радиатор нагнетаемого воздуха с перепуском для холодного пуска
39. Турбонагнетатель (здесь VTG ) с датчиком позиционирования
40. Регулятор давления наддува

*E. 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. Бак для средств понижения токсичности
50. Подкачивающая помпа для средств понижения токсичности
51. Форсунка для средств понижения токсичности
52. Датчик NO<sub>x</sub>
53. Нейтрализатор SCR
54. Датчик NH<sub>3</sub>
55. Конечный нейтрализатор



56. Каталитически очищаемый сажевый фильтр CSF

57. Гидролизный нейтрализатор.

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 необходимо указать для понимания работы всей схемы.

Через шину CAN в блоке «Панель приборов» (B) возможен обмен данными с различными блоками (например, управлением автоматической коробкой передач, противобуксочной 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, b или с).

#### 5.4. Агрегаты контура высокого давления

Контур высокого давления аккумуляторной системы *Common Rail* делится на три части; создания давления, его аккумуляирования и дозировки топлива (рис 5.1 и 5.2). Топливный насос высокого давления снабжен клапаном регулирования давления и клапаном отключения плунжерной секции. С помощью ТНВД высокое давление аккумуляируется в специальной камере – аккумуляторе давления рис 5.3, оснащен-

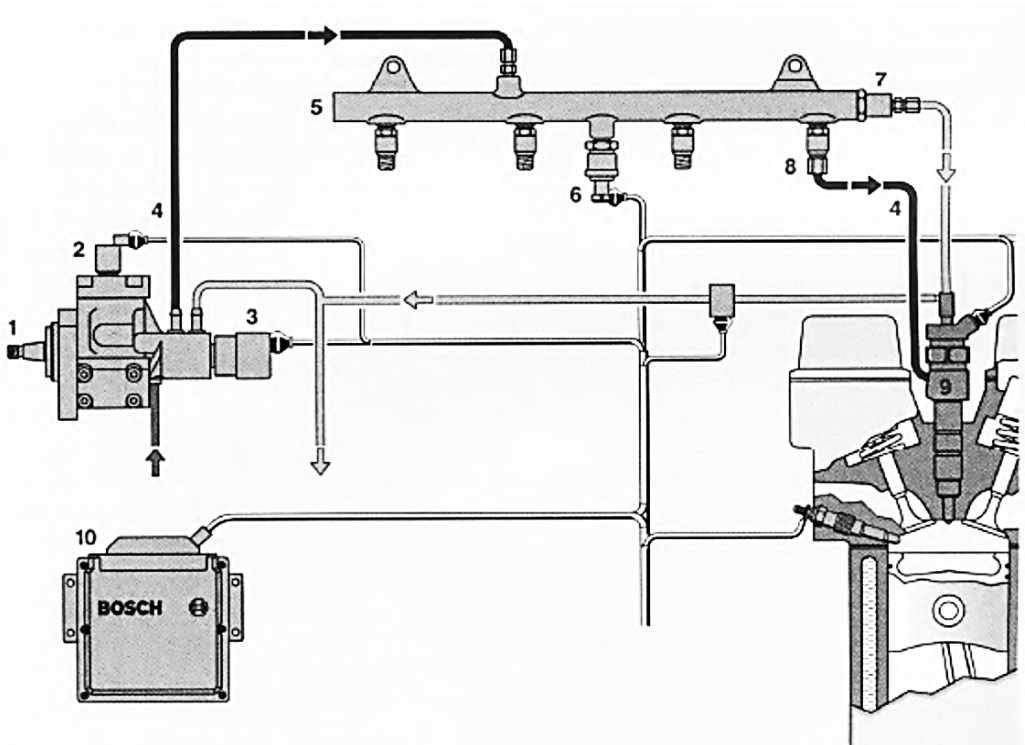


Рис. 5.3. Контур высокого давления

ном датчиком давления, клапаном ограничения давления (перепускным клапаном) и ограничителем пропускной способности. Форсунки служат для своевременной подачи топлива в нужном количестве. Магистральи высокого давления связывают все эти части друг с другом.

#### **5.4.1. Топливный насос высокого давления**

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

*ТНВД создает постоянное давление величиной до 1600 бар для аккумулятора высокого давления (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 мин<sup>-1</sup> и напрямую связана передаточным отношением с частотой вращения коленчатого вала. ТНВД смазывается проходящим через него топливом.

Клапан 3 регулирования давления (рис. 5.3) в зависимости от имеющегося подкапотного пространства устанавливается либо непосредственно на ТНВД, либо отдельно. Три плунжера 3, радиально расположенные по окружности через 120° (рис. 5.4–5.5), сжимают топливо внутри ТНВД. Три рабочих хода каждого плунжера за один оборот вала ТНВД позволяют обеспечить незначительную и равномерную нагрузку на вал привода с эксцентриковыми кулачками. Крутящий момент, достигающий величины 16 Нм, 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.

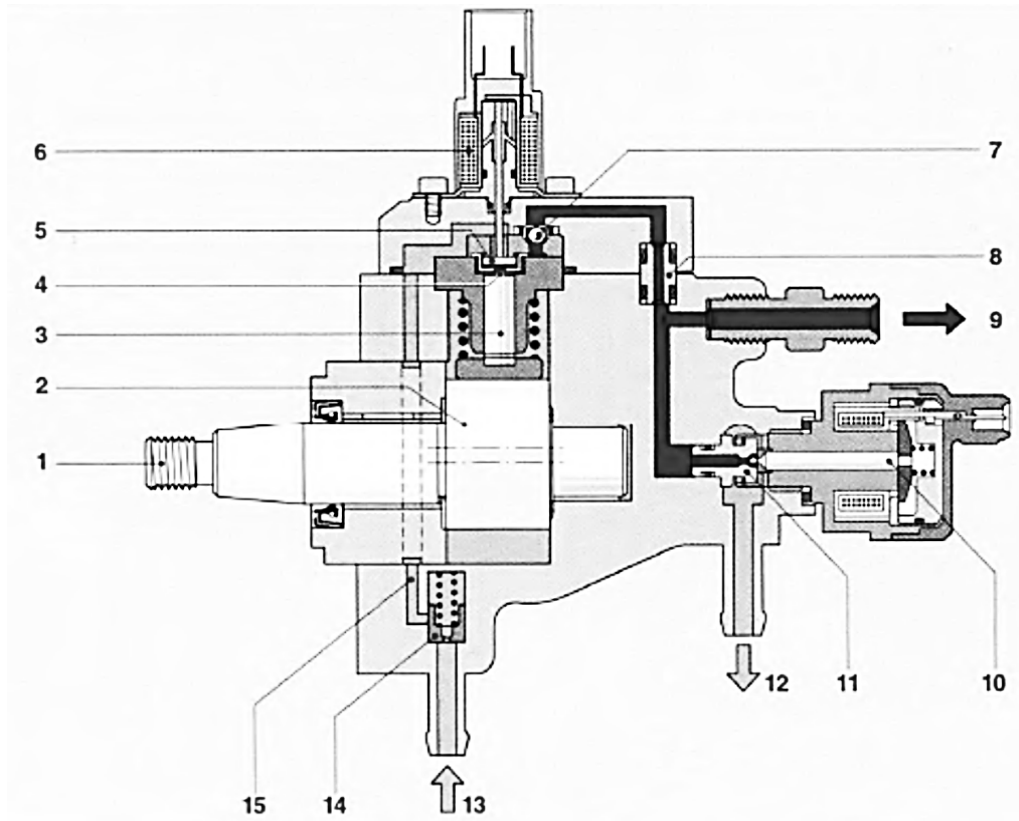


Рис. 5.4 ТНВД продольный разрез

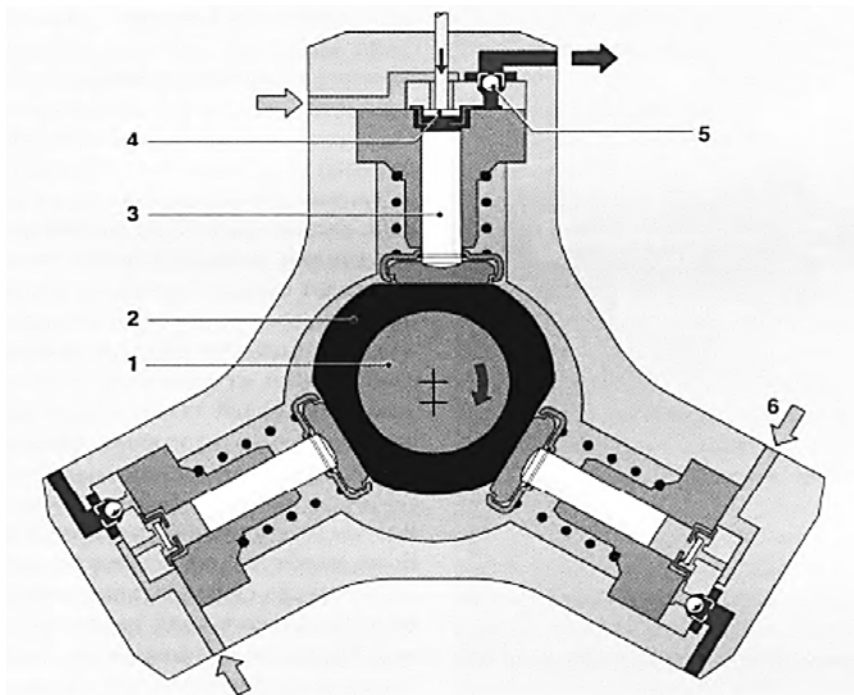


Рис. 5.5. ТНВД поперечный разрез

На дизеле рабочим объемом 2,0 л ТНВД (при механическом КПД около 90 %) потребляет мощность порядка 3,8 кВт при номинальной частоте вращения коленчатого вала и давлении 1350 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 (рис. 5.4), топливо, используемое также для смазки и охлаждения деталей ТНВД, движется к плунжерам по системе каналов. Вал 1 привода с эксцентриковыми кулачками 2 одновременно заставляет поступательно двигаться все три плунжера 3.

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

Сжатое топливо поступает в контур высокого давления.

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

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

### **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 3 сокращается количество топлива, которое подается в аккумулятор высокого давления.

Если электромагнитный клапан 6 отключения плунжерной секции задействован, то встроенный в его якорь штифт нажимает на впускной клапан 5, постоянно держа его в открытом положении. Поступившее в надплунжерное пространство топливо не сжимается во время хода подачи, повышения давления не происходит, выпускной клапан не открывается. Соответственно топливо не поступает в контур высокого давления, а возвращается в контур низкого давления.

При снижении потребной мощности отключение одной из плунжерных секций позволяет регулировать производительность ТНВД.

## 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. 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.

### 5.4.2. Клапан регулирования давления

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

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

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

Клапан регулирования давления (рис. 5.6) крепится через фланец к корпусу ТНВД или аккумулятора высокого давления. Якорь 2 прижимает шарик 1 клапана к седлу под действием пружины клапана 4

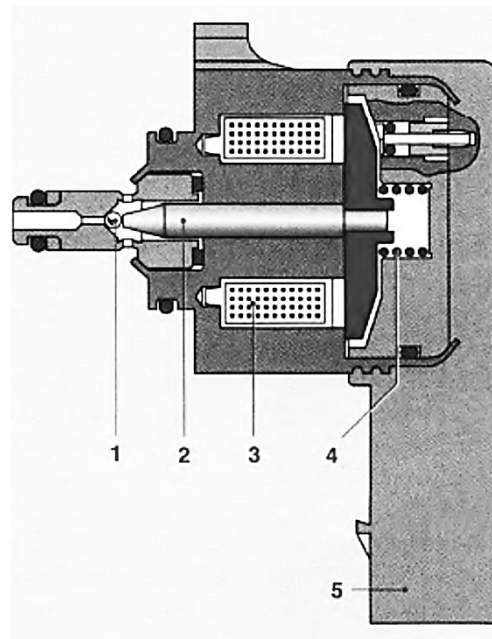


Рис. 5.6. Клапан регулирования давления

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.

### **Принцип действия**

Клапан регулирования давления имеет два контура:

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

Клапан регулирования давления отключен от аккумулятора или на выходе ТНВД топливо под высоким давлением подается на вход 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.

### 5.4.3. Аккумулятор высокого давления (*Rail*)

#### Назначение

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

Распределение топлива по форсункам также входит в функции аккумулятора.

#### Устройство

Аккумулятор 1 высокого давления в общем виде имеет форму трубки (рис. 5.7). В зависимости от конструкции двигателя конкретное исполнение аккумулятора может иметь разные формы. На аккумулятор могут устанавливаться датчик 3 давления топлива и клапан 4 ограничения давления. В качестве дополнительного оборудования могут устанавливаться ограничители 6 расхода топлива и клапан регулирования давления, если он не расположен на ТНВД.

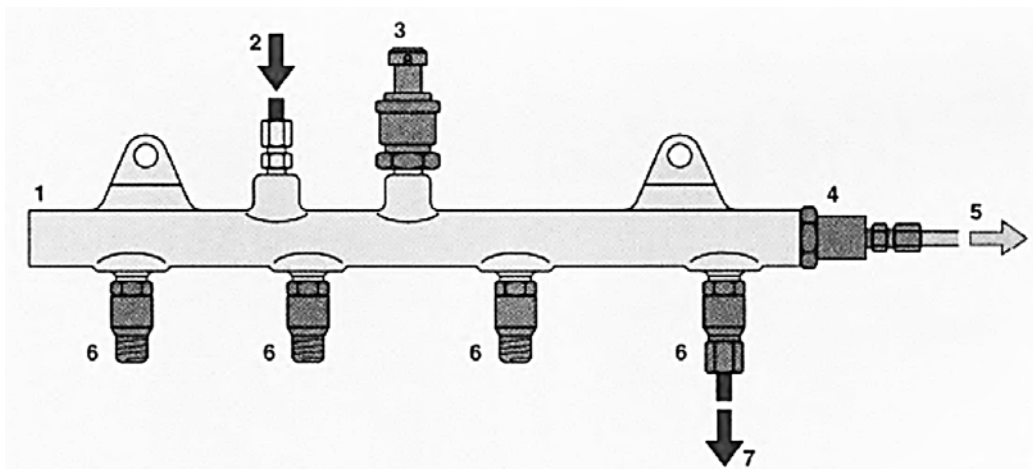


Рис. 5.7. Аккумулятор высокого давления

#### 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 (см. главу «Датчики») 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.

## 5.5. Форсунка

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

### 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.

#### 5.5.1. Конструкция

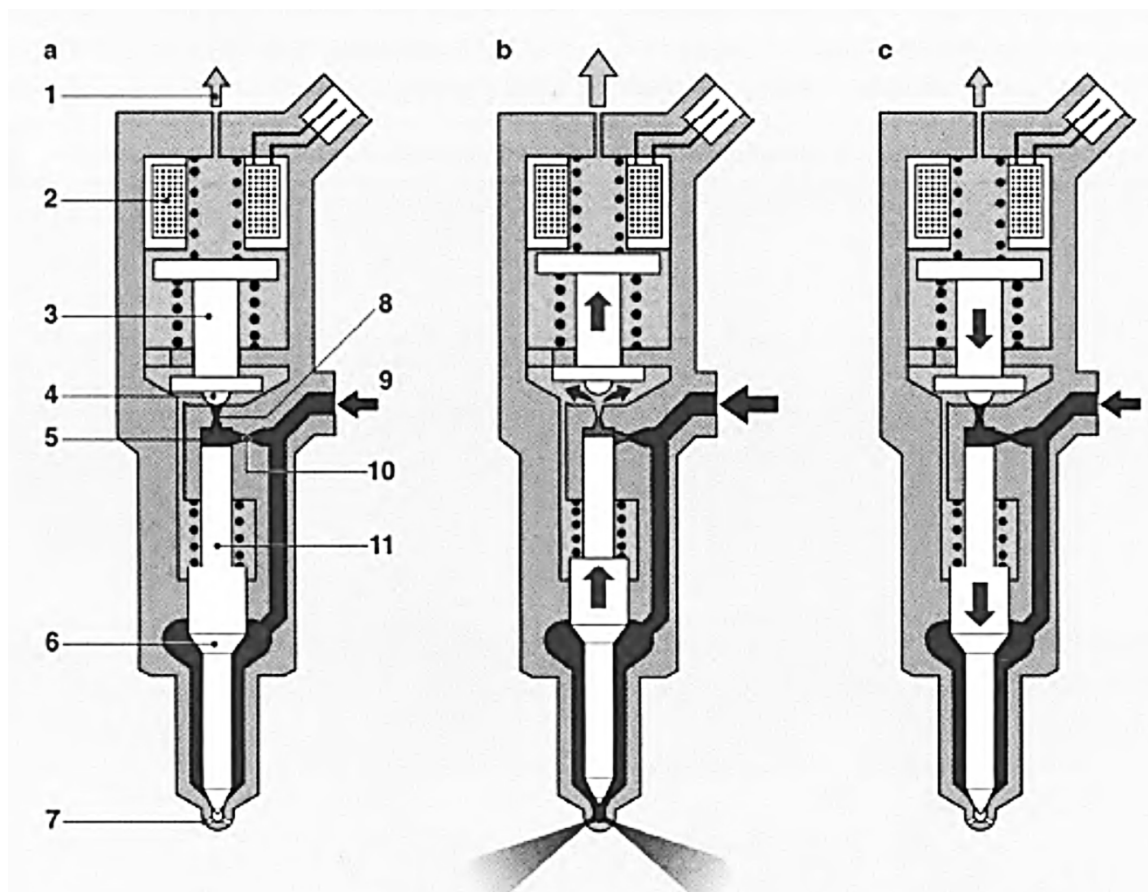
Форсунка состоит из следующих функциональных блоков:

- бесштифтовой распылитель (см. главу «Распылители»);
- гидравлическая сервосистема; электромагнитный клапан.

Топливо подается по магистрали 9 высокого давления (рис. 5.8) 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.

При закрытом дроссельном отверстии 8 (рис. 5.8а) гидравлическая сила, действующая сверху на поршень 11 управляющего клапана, превышает силу давления топлива снизу на конус 6 иглы распылителя. Вследствие этого игла прижимается к седлу распылителя и плотно закрывает отверстия 7 распылителя. В результате топливо не попадает в камеру сгорания.





*Рис. 5.8. Работа форсунки*

При срабатывании электромагнитного клапана якорь электромагнита сдвигается вверх, открывая дроссельное отверстие 8 (рис. 5.8b). Соответственно снижаются как давление в камере управляющего клапана, так и гидравлическая сила, действующая на поршень управляющего клапана. Под действием давления топлива на конус 6 иглы 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 непосредственно 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.

### 5.5.2. 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. 5.9а).

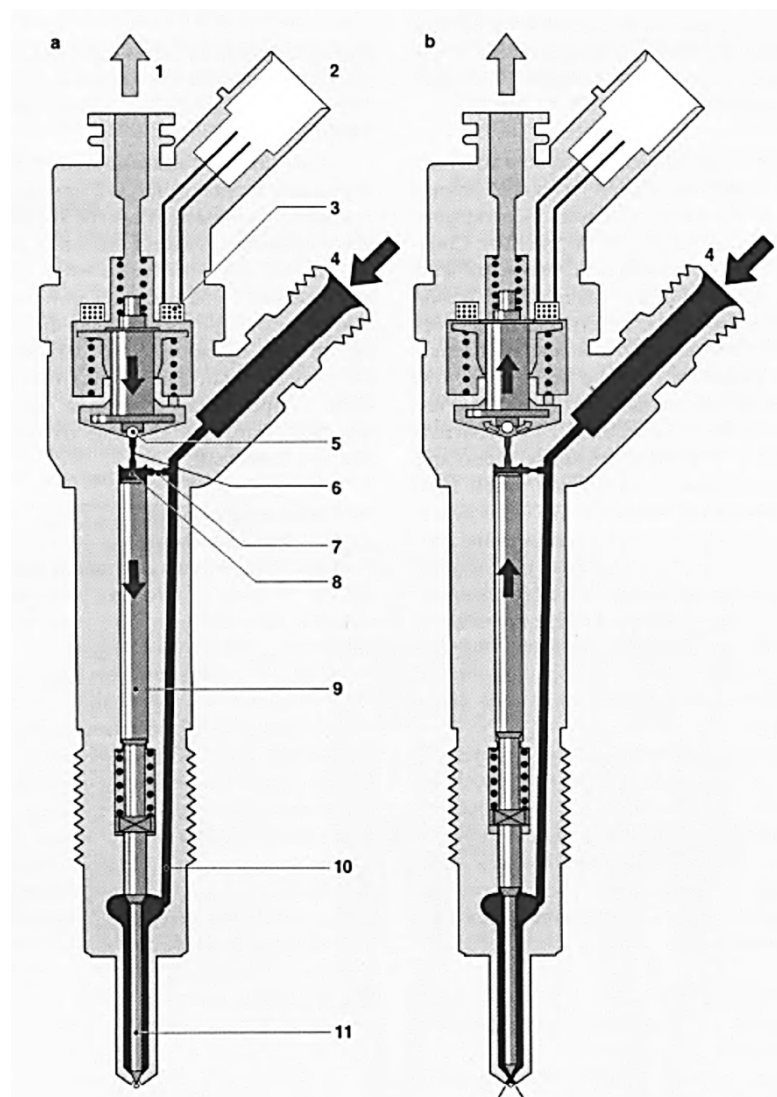


Рис. 5.9. Схема форсунки

Когда шарик 4 клапана прижимается пружиной к седлу (рис. 5.8а), 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.

### **5.5.3. Форсунка открывается (начало впрыскивания)**

Форсунка находится в состоянии покоя. В момент подачи на катушку электромагнита, так называемого, тока страгивания электромагнитный клапан быстро срабатывает (рис. 5.8b, и рис. 5.9b). 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 страгивания снижается до величины тока удержания, которая гораздо меньше. Через дроссельное отверстие топливо из камеры управляющего клапана перетекает в магистраль обратного слива.

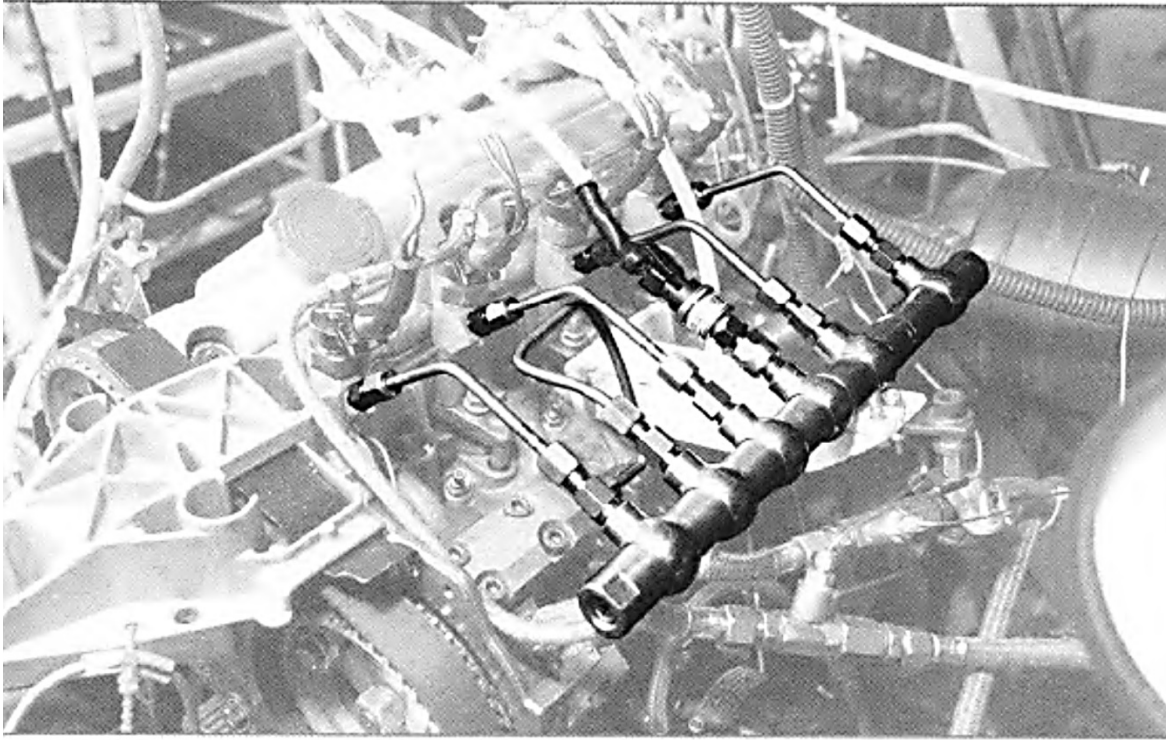
Дроссельное отверстие 7 подачи топлива (рис. 5.9а) предотвращает полное выравнивание давления, благодаря чему давление в камере управляющего клапана снижается до меньшей величины, чем давление в камере распылителя. Пониженное давление в камере управляющего клапана и действие пружины, которая давит на 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 открытия.

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).

#### **5.5.4. Форсунка закрывается (конец впрыскивания)**

Когда электромагнитный клапан обесточивается, якорь силой пружины запирающего клапана прижимается вниз и шарик клапана запирает дроссельное отверстие 8 (рис. 5.8с). При этом диск якоря сжимает возвратную пружину, которая демпфирует действие пружины запирающего клапана с тем, чтобы избежать смятия седла при резкой посадке шарика клапана.



*Рис. 5.10 Дизель с системой впрыска Common Rail на моторном испытательном стенде*

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

Конструкция распылителей форсунок рассмотрена в первой теме. Расположение системы на двигателе показано на рис. 5.10.

## 5.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Преимущества и недостатки систем впрыска *Common Rail*.
2. Основные элементы системы впрыска.
3. Принцип действия системы впрыска.
4. Управление и регулирование работой двигателя.
5. Назначение агрегатов контура высокого давления.
6. Какой функции лишён ТНВД системы *Common Rail*.
7. Принцип действия ТНВД.
8. Как работает клапан регулирования давления.
9. Работа аккумулятора высокого давления (*Rail*).
10. Основные элементы форсунки впрыска топлива.
11. Работа форсунки впрыска топлива (форсунка закрыта).
12. Работа форсунки впрыска топлива (начало впрыска).
13. Способ регулирования цикловой подачи.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### ЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ ДИЗЕЛЯ

#### Цель лабораторной работы

Уяснить назначение, изучить классификацию, общее устройство, принципы работы, управления системой питания автотракторных дизелей; уметь обслуживание систем питания; знать их технические характеристики.

#### Оборудование

Картограммы, планшеты, натурные образцы и разрезы приборов, датчиков электронного управления систем питания двигателей фирмы *BOSH*.

#### Последовательность выполнения работы

1. Запишите в отчет цель работы
2. Изучите требования, классификацию и общее устройство систем электронного управления дизелей.
3. Уясните работу блоков системы регулирования, их расположение на тракторе и автомобиле, дайте им сравнительную оценку.
4. Уясните назначение, изучите классификацию, устройство и работу датчиков дизельного двигателя.

*Электронное управление работой дизеля позволяет точно и дифференцированно регулировать параметры процесса впрыскивания.* Только таким образом можно обеспечить соответствие многочисленным требованиям, которые ставятся перед современными дизелями. Система электронного управления работой дизеля подразделяется на три системных блока: «датчики и задающие устройства», «блок управления» и «исполнительные механизмы».

#### Требования

Снижение расхода топлива и уровня эмиссии вредных веществ в ОГ при одновременном повышении мощности или крутящего момента в последние годы привело к увеличению использования дизелей с непосредственным впрыском топлива, у которых давление впрыскивания по сравнению с вихрекамерными или предкамерными двигателями заметно выше. Из-за лучшего смесеобразования и отсутствия потерь на перетекание заряда между камерами сгорания расход топлива у двигателей с непосредственным впрыском сокращается на 10...20%.

На основе вышеперечисленного формируются требования к системе впрыска и регулированию ее работы относительно:

- высоких давлений впрыскивания;

- формирования процесса впрыскивания;
- предварительного и, при необходимости, дополнительного впрыскивания;
- соответствия каждому рабочему режиму цикловой подачи топлива, давления во впускном трубопроводе и момента начала впрыскивания;
- зависимости пусковой подачи от температуры охлаждающей жидкости;
- независимой пусковой подачи от нагрузки частоты вращения холостого хода;
- регулирования рециркуляции ОГ;
- регулирования скорости движения машины;
- меньших допусков на время впрыскивания и величину цикловой подачи;
- сохранения высокой стабильности всех параметров на время всего срока службы дизеля.

Обычная механическая система регулирования частоты вращения коленчатого вала с помощью различных устройств гарантирует высокое качество подготовки топливовоздушной смеси на разных режимах работы дизеля. Тем не менее, она имеет ограниченные функции и не учитывает многие параметры, влияющие на работу двигателя извне. Кроме того, минимальное время срабатывания механической системы ограничено ее конструктивными особенностями.

Электронная система управления работой дизеля развивалась от простого электрического привода рейки ТНВД до комплексной электронной системы, которая может обрабатывать в реальном времени большое количества пара–метров. Она может быть частью всей бортовой электронной системы автомобиля. Комплексная электронная система, благодаря всевозрастающей интеграции электронных устройств, может размещаться в миниатюрном блоке управления. Система электронного регулирования работы дизеля способна обеспечить выполнение всех упомянутых требований.

В отличие от механических систем регулирования, при наличии электроники, водитель, нажимая педаль акселератора, не приводит в действие тяги привода ТНВД, а задействует исполнительные механизмы. Величина цикловой подачи топлива зависит от различных параметров:

- желаний водителя (положения педали газа);
- рабочего состояния дизеля;
- температуры охлаждающей жидкости;
- воздействия других систем (например, противобуксовочной системы);
- воздействия на уровень эмиссии вредных веществ в ОГ и т. д.

По этим параметрам блок управления рассчитывает величину подачи топлива. Момент начала впрыскивания также можно варьировать.

Все это обуславливает широкие возможности управления, когда возникающие отклонения от требуемого режима оперативно распознаются и запускается соответствующая программа реагирования (например, ограничение крутящего момента или переход на режим холостого хода в случае неисправности). Именно поэтому система регулирования работой дизеля включает в себя несколько контуров.

Применение электронной системы позволяет также осуществлять обмен данными с другими системами автомобиля. Вместе с тем, электронная система управления работой дизеля может интегрироваться в единую бортовую сеть управления автомобилем, что позволяет, например, снижать крутящий момент при срабатывании автоматической коробки передач или изменять его при пробуксовке колес, отключать систему впрыска от устройства блокировки движения и т. д.

Электронная система управления работой дизеля полностью интегрирована в бортовую систему диагностики автомобиля.

### 6.1. Системные блоки

Электронная система управления работой дизеля делится на три системных блока (рис. 6.1).

Датчики и задающие устройства 1 регистрируют условия эксплуатации (например, частоту вращения коленчатого вала двигателя) и задаваемые величины (например, положение рейки ТНВД). Они преобразуют физические величины в электрические сигналы.

Блок 2 управления обрабатывает сигналы датчиков и задающих устройств по определенным программам (алгоритмам управления и регулирования). Он управляет исполнительными механизмами с помощью электрических выходных сигналов. Кроме того, блок управления взаимодействует с другими системами автомобиля 4, а также участвует в его диагностике 5. Исполнительные механизмы 3 преобразуют электрические выходные сигналы блока управления в действие механических устройств (например, электромагнитного клапана индивидуального ТНВД). Обзор агрегатов некоторых систем управления приведен на рис.6.2–6.4.

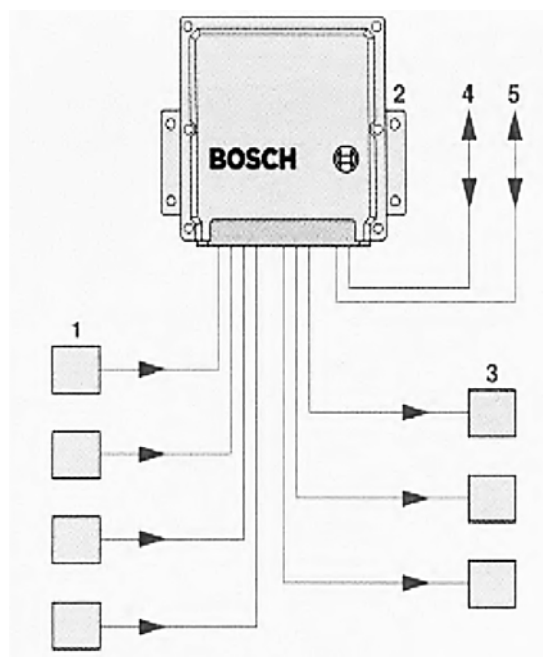


Рис. 6.1. Системные блоки управления двигателя



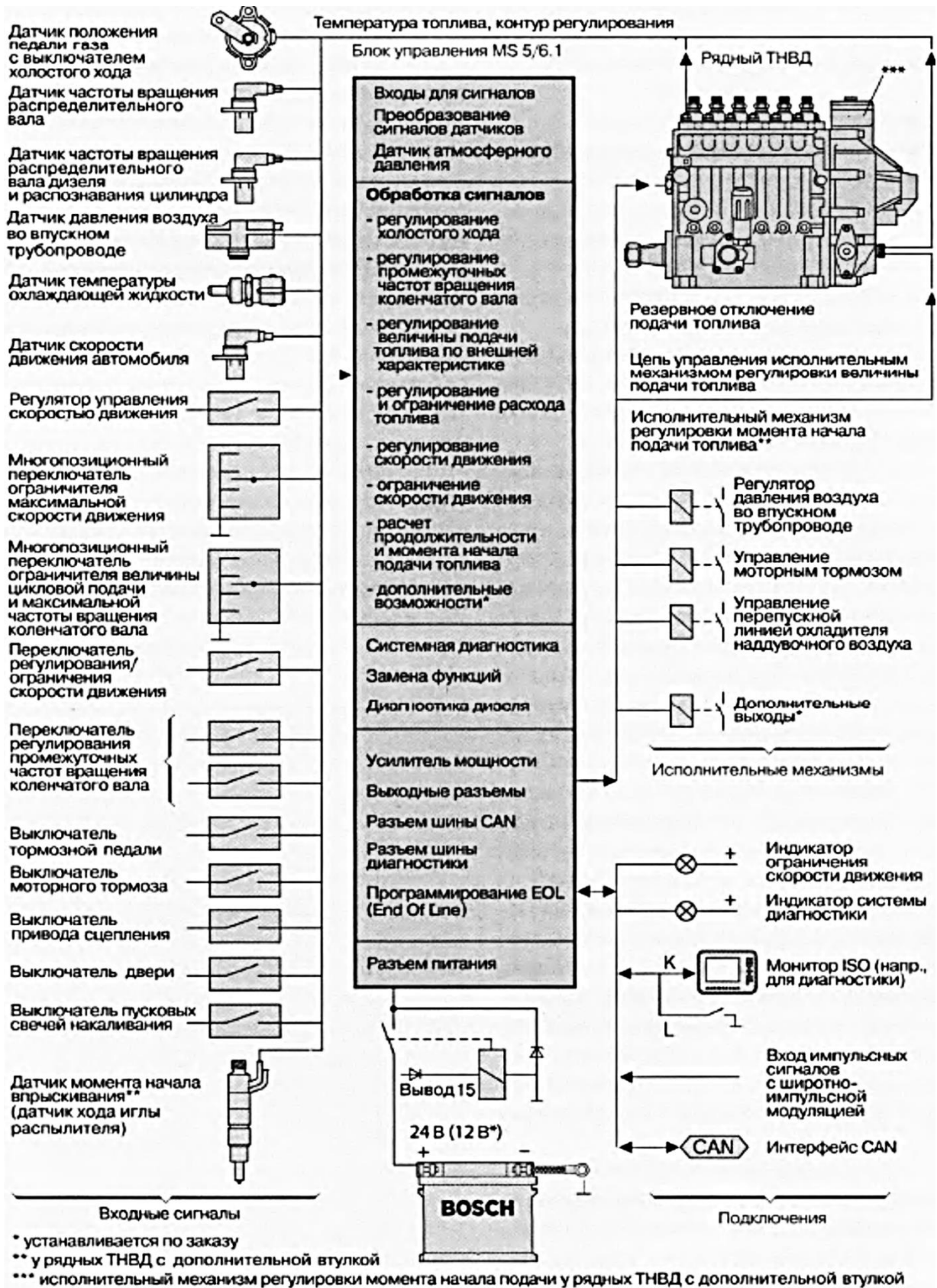


Рис. 6.2. Агрегаты системы электронного управления работой дизеля для рядных ТНВД

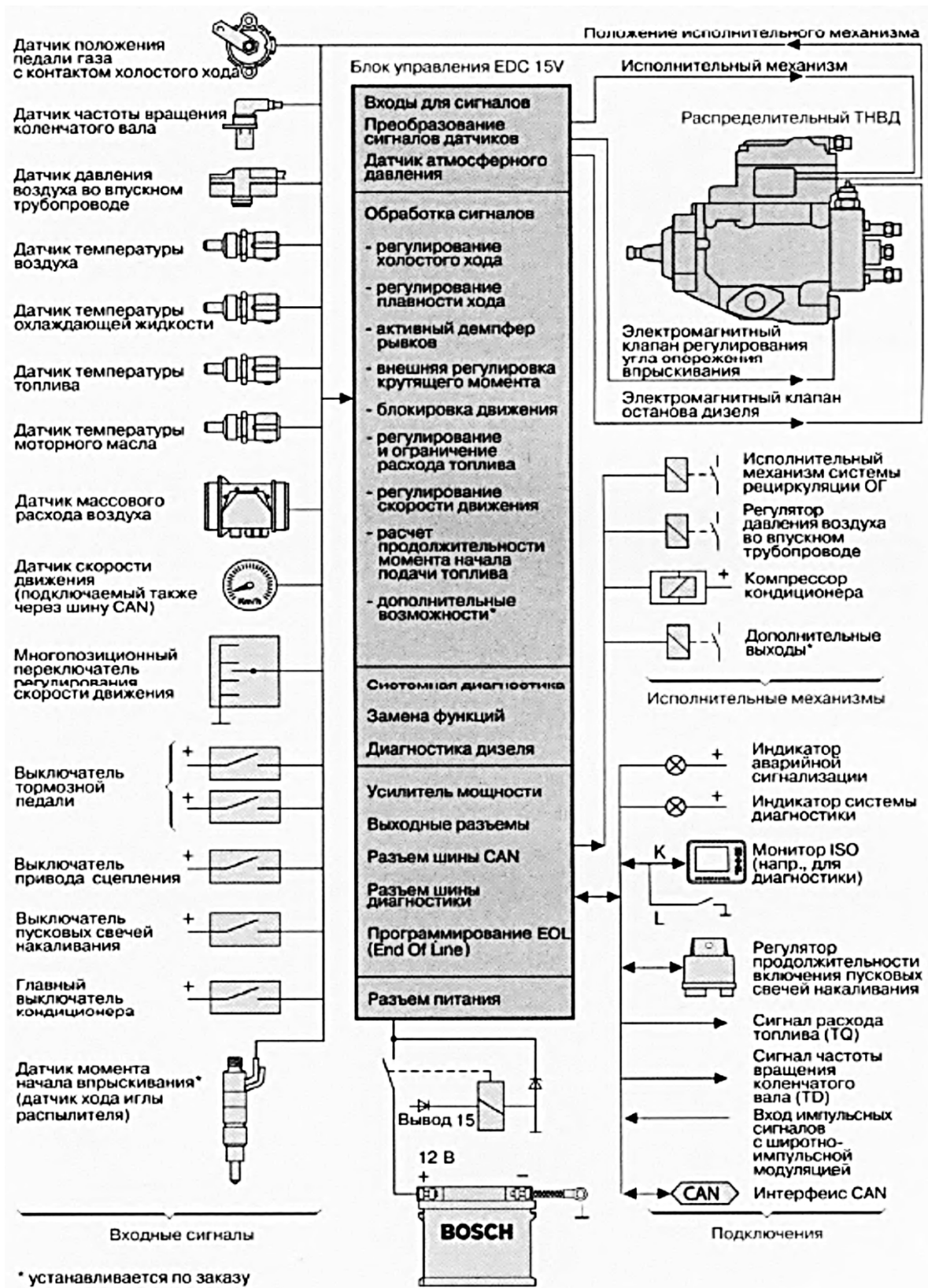


Рис. 6.3. Агрегаты системы электронного управления работой дизеля для распределительных ТНВД с регулирующей кромкой

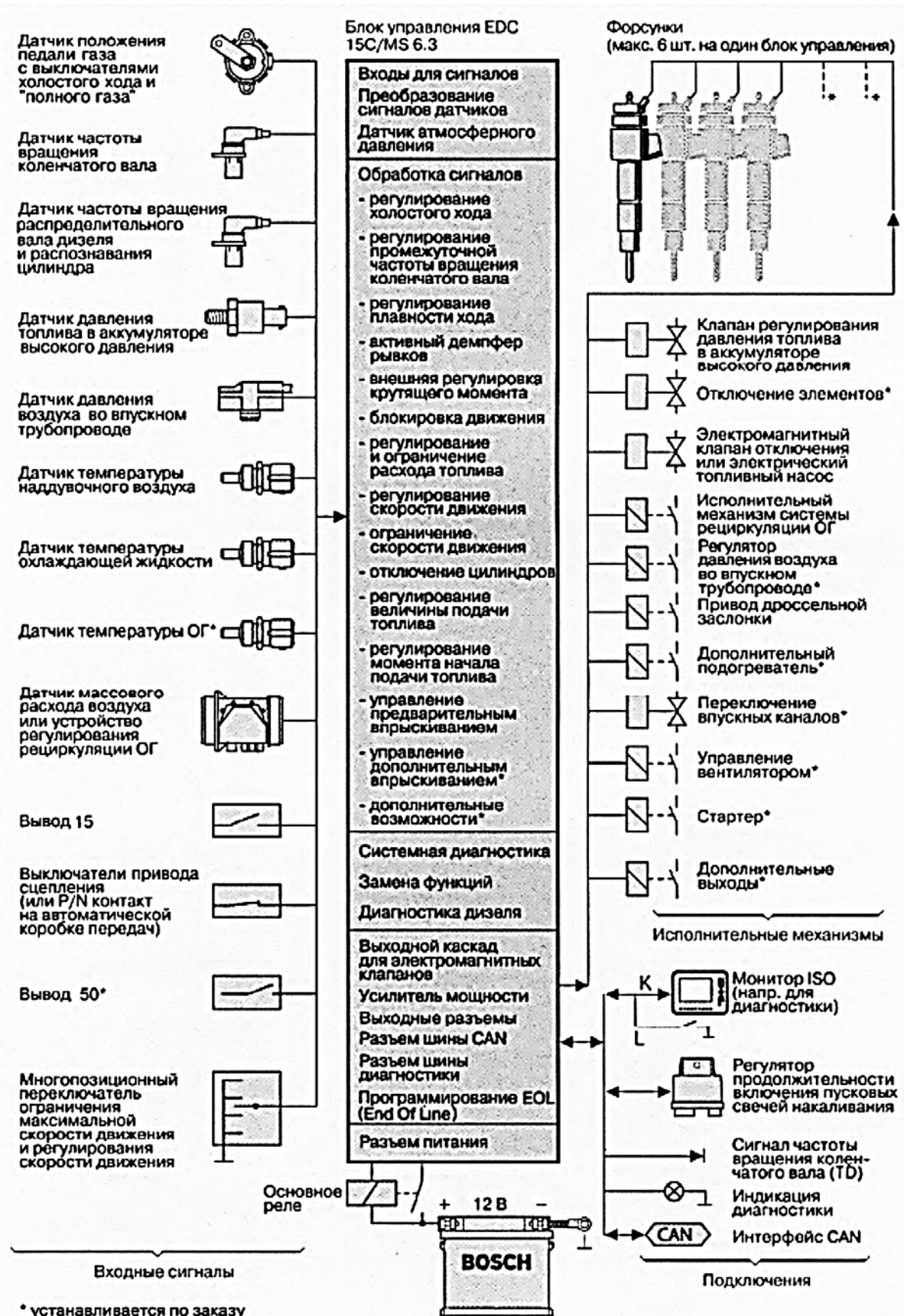


Рис. 6.4. Агрегаты системы электронного управления Common Rail

## **6.2. Датчики**

Датчики регистрируют рабочие параметры (частоту вращения коленчатого вала) и задаваемые величины (положение педали газа). Они превращают физические (давление) или химические (концентрация ОГ) величины в электрические сигналы.

Датчики и исполнительные механизмы обеспечивают взаимодействие и обмен информацией между различными системами автомобиля (двигатель, трансмиссия, ходовая часть) и электронными блоками, объединяя их в единую систему обработки данных и управления. Как правило, датчик выдает сигналы, которые воспринимаются блоком управления.

Область мехатроники, в которой механические и электронные связи, а также компоненты обработки данных, тесно связаны друг с другом, играет все большую роль и в разработке новых конструкций датчиков. Последние часто внедряются в различные детали (например, узел манжетного уплотнения коленчатого вала с датчиком частоты вращения).

Датчики становятся все меньше по размерам, при этом их точность и быстродействие возрастает, так как выходные сигналы оказывают непосредственное влияние на мощность и крутящий момент двигателя, уровень эмиссии ОГ, ходовые качества и безопасность автомобиля.

### **6.2.1. Датчики температуры**

#### **Датчик температуры охлаждающей жидкости**

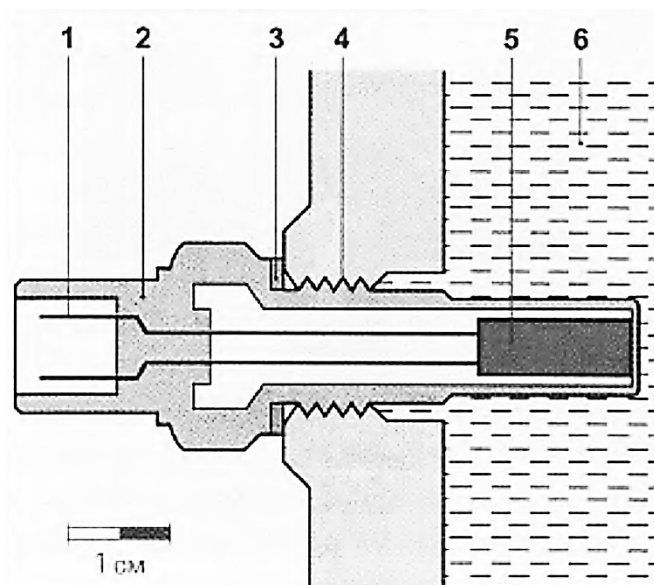
Этот датчик устанавливается в системе охлаждения (рис. 6.5) для измерения температуры охлаждающей жидкости в качестве показателя температуры двигателя (диапазон измерения от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

#### **Датчик температуры воздуха**

Этот датчик во впускном трубопроводе регистрирует температуру подаваемого воздуха, зная которую и используя показания датчика давления во впускном трубопроводе, можно рассчитать массу воздуха на впуске. Кроме того, задаваемые величины для контуров регулирования (например, рециркуляция ОГ, регулирование давления во впускном трубопроводе) могут корректироваться по температуре воздуха (диапазон измерения от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

#### **Датчик температуры моторного масла**

Сигнал датчика температуры моторного масла используется при расчете интервала обслуживания (диапазон измерения от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



*Рис. 6.5. Датчик температуры:  
1 – разъем, 2 – корпус, 3 – прокладка, 4 – резьба,  
5 – измерительный резистор, 6 – охлаждающая жидкость*

### **Датчик температуры топлива**

Датчик температуры топлива установлен в системе подачи дизельного топлива (контуре низкого давления). По температуре топлива можно точно рассчитать цикловую подачу впрыскиваемого топлива (диапазон измерения от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ ).

### **Датчик температуры ОГ**

Этот датчик монтируется в системе выпуска в местах, где можно зафиксировать критические температуры. Его применяют для регулирования системы нейтрализации ОГ. Измерительный резистор изготавливается в большинстве случаев из платины (диапазон измерения от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+1000^{\circ}\text{C}$ ).

### **Устройство и принцип действия**

Различие видов датчиков температуры определяется областями их применения. В корпус встраивается температурозависимый измерительный резистор из полупроводника. Он, как правило, имеет отрицательный, реже положительный, температурный коэффициент, т. е. его сопротивление с ростом температуры уменьшается (или увеличивается).

Измерительный резистор встраивается в схему делителя напряжения, который питается напряжением в 5 В. Полученное на измерительном резисторе напряжение, таким образом, является температурозависимым. Оно считывается аналого-цифровым преобразователем и соот-

ветствует величине температуры датчика. В блок управления работой дизеля заложено поле характеристик, в котором каждому сопротивлению или значению выходного напряжения соответствует определенная температура.

### **6.2.2. Микромеханические датчики давления**

#### **Датчик давления во впускном трубопроводе**

Этот датчик измеряет абсолютное давление воздуха во впускном трубопроводе между нагнетателем и двигателем (порядка 250 кПа или соответственно 2,5 бар) относительно вакуума, а не относительно окружающей среды. Благодаря этому можно точно определить массу воздуха, а также отрегулировать давление во впускном трубопроводе соответственно потребности двигателя.

#### **Датчик давления окружающей среды**

Этот датчик (называемый также датчиком атмосферного давления) располагается в блоке управления или в подкапотном пространстве. Его сигнал служит для коррекции по высоте над уровнем моря некоторых заданных величин, например, рециркуляции ОГ и регулирования давления во впускном трубопроводе. Вместе с тем может учитываться изменение плотности окружающего воздуха. Датчик давления окружающей среды измеряет абсолютное давление (60...115 кПа или соответственно 0,6...1,15 бар).

#### **Датчики давления масла и топлива**

Датчик давления масла устанавливаем возле масляного фильтра и измеряет абсолютное давление масла, с тем чтобы можно было определить работоспособность основных механизмов двигателя. Его диапазон давления 50... 1000 кПа или соответственно 0,5... 10,0 бар. Подобный датчик Изза его высокой стойкости к агрессивным средам применяют также для измерения давления топлива в контуре низкого давления. Он устанавливается непосредственно в топливном фильтре или рядом с ним. С помощью этого датчика контролируют степень загрязнения фильтра (диапазон измерения 20...400 кПа или соответственно 0,2...4 бар).

#### **Датчик давления с вакуумной полостью со стороны измерительного элемента**

Измерительный элемент – это сердце микромеханического датчика давления. Он состоит из кристалла 2 кремния (рис. 6.6), в котором вытравлена тонкая мембрана 1.

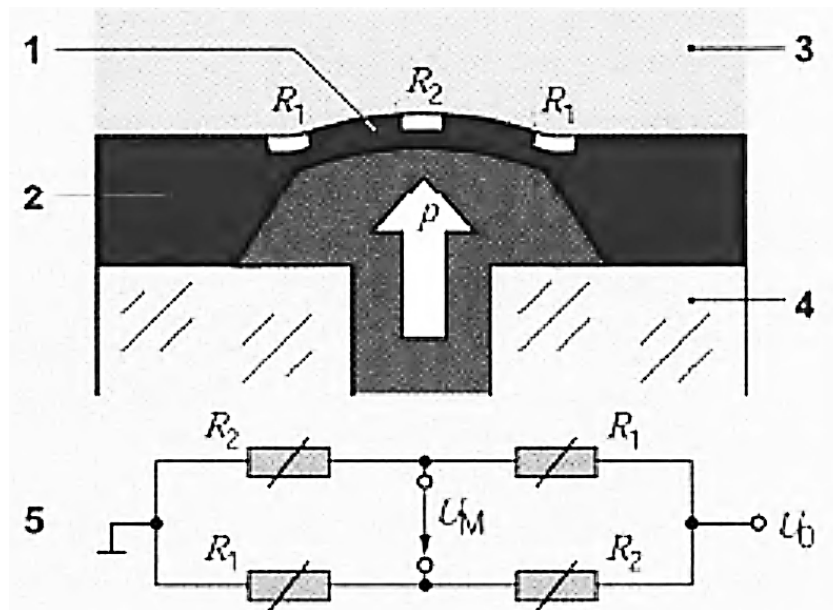


Рис. 6.6. Схема датчика давления с вакуумной полостью

На мембрану с помощью диффузии нанесены четыре тензорезистора ( $R_1$ ,  $R_2$ ), электрическое сопротивление которых изменяется пропорционально изменению механического напряжения мембраны. Под крышкой, которая закрывает и герметизирует измерительный элемент со всех сторон, создается вакуум (рис. 6.7).

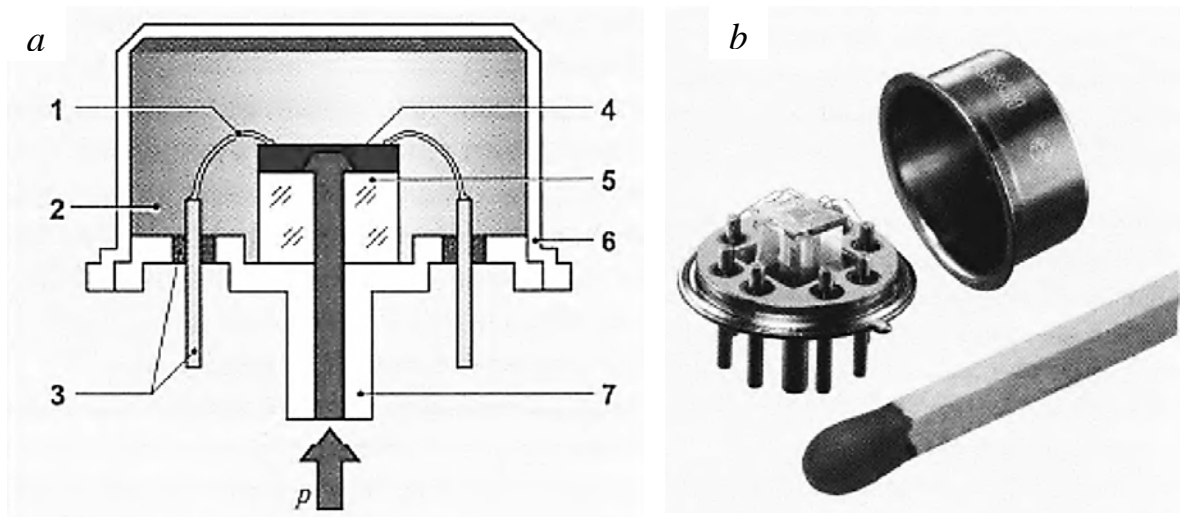


Рис. 6.7. Конструкция (a) и внешний вид (b) датчика давления с вакуумной полостью

В корпус датчика давления может быть дополнительно встроен датчик температуры, сигналы которого могут обрабатываться независимо. Таким образом, датчики температуры и давления можно размещать в едином корпусе.

## Принцип действия

В зависимости от величины измеряемого давления мембрана элемента датчика прогибается по-разному (10...1000 мкм). При возникающих механических напряжениях четыре тензорезистора на мембране изменяют свое электрическое сопротивление (пьезорезистивный эффект). Измерительные резисторы расположены на кристалле кремния таким образом, чтобы при деформации мембраны электрическое сопротивление двух измерительных резисторов возрастало, а двух других уменьшалось.

Измерительные резисторы соединены по схеме 5 измерительного мостика Уинстона (рис. 6.6). С изменением сопротивлений отношение электрических напряжений на резисторах также изменяется. Следовательно, изменяется измерительное напряжение  $U_m$ , которое соответствует, таким образом, величине давления на мембрану.

Мостовая схема допускает измерение более высокого напряжения, чем один отдельный резистор. Мостик Уинстона позволяет тем самым повысить чувствительность датчика. Со стороны измерительного элемента на мембрану действует давление вакуума 2 (рис. 6.7), так что датчик измеряет абсолютную величину давления.

Электроника для создания измерительного сигнала (чип) имеет задачу усиливать напряжение мостика, компенсировать влияния температуры и получить линейную характеристику давления. Выходное напряжение лежит в диапазоне 0...5 В и подается через штекер 5 к блоку управления работой дизеля (рис. 6.8). Блок управления по этому напряжению рассчитывает величину давления.

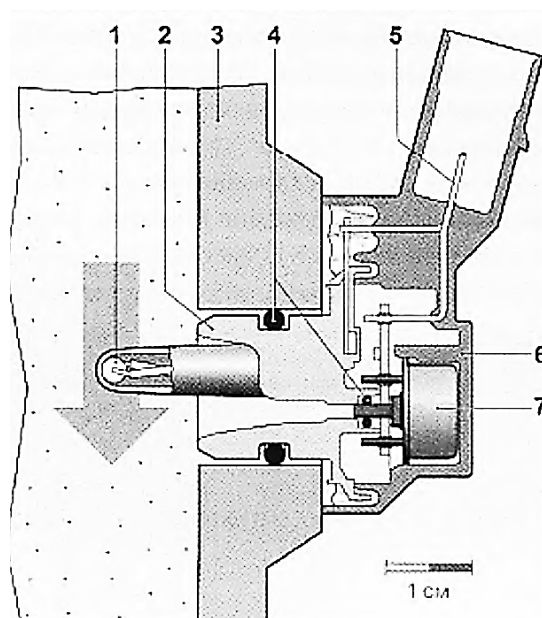


Рис. 6.8. Датчик давления с термопарой

## Датчик давления с отдельной вакуумной камерой

Датчик давления с отдельной вакуумной камерой (рис. 6.9а) устроен гораздо проще: чип кремния с вытравленной мембраной и четыре тензорезистора в мостовой схеме установлены на стеклянном цоколе.

Измеряемое давление в этом случае действует со стороны измерительного элемента, который покрывается защитным гелем 1 (рис. 6.9с) от воздействия окружающей среды.



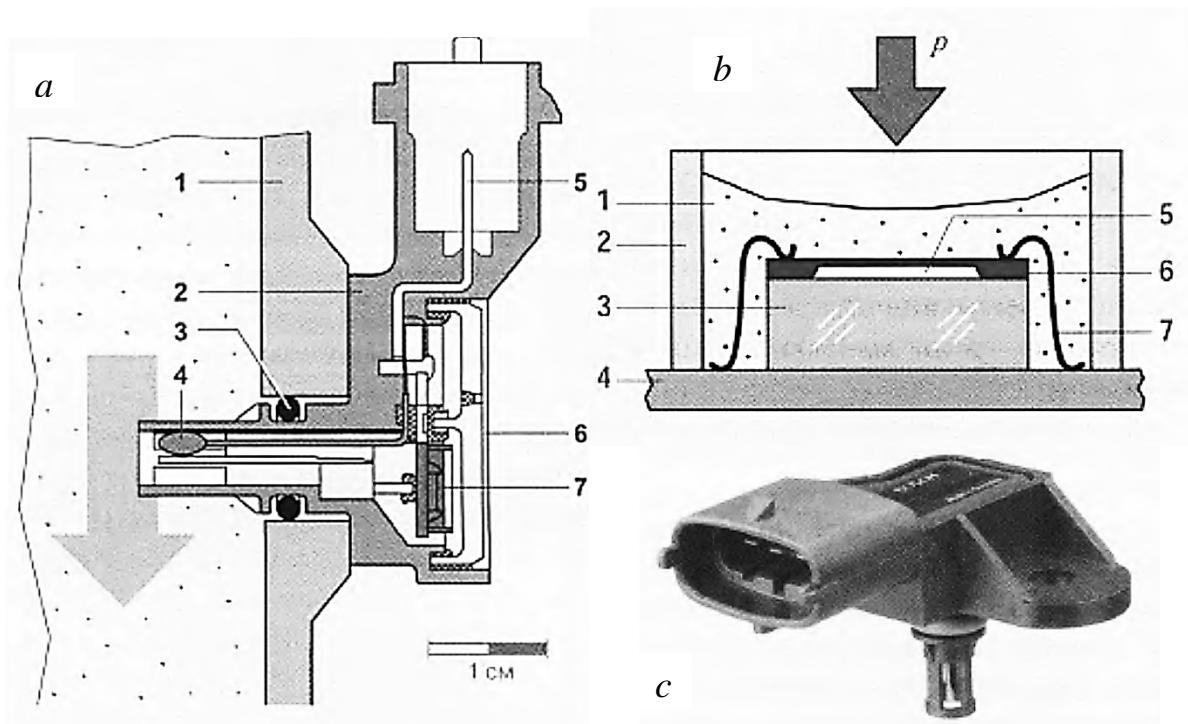


Рис. 6.9. Схема (а), измерительный элемент (b) и внешний вид (с) датчика давления с отдельной вакуумной камерой

Вакуум создается в отдельной камере 5 между измерительным элементом 6 и стеклянным цоколем 3. Весь измерительный элемент располагается на керамическом основании 4. В датчике имеются лужёные поверхности для контактов.

В корпусе датчика давления может быть дополнительно смонтирован датчик температуры 4 (рис. 6.9b), который непосредственно контактирует с воздушным потоком и с наибольшей скоростью реагирует на изменения его температуры.

### Принцип действия

Принцип действия и вместе с ним подготовка и усиление сигнала, а также характеристика датчика давления с отдельной вакуумной камерой аналогичны конструкции датчика с вакуумной полостью со стороны измерительного элемента. Единственное различие состоит в том, что мембрана измерительного элемента датчика давления с отдельной вакуумной камерой деформируется в противоположном направлении, и тензорезисторы также испытывают противоположную деформацию.

### Датчики давления топлива системы *Common Rail*

Датчики давления топлива систем *Common Rail* измеряют давление в топливном аккумуляторе высокого давления. Точное поддержание за-

данного давления топлива имеет большое значение для мощности двигателя, соблюдения уровня эмиссии ОГ и уровня шума. Давление регулируется соответствующей системой, а возможные отклонения от заданных величин выравниваются регулирующим клапаном.

Допустимые отклонения характеристик датчика давления топлива очень малы. Точность измерения в области основных режимов работы дизеля составляет 2% от диапазона измерения.

Датчики давления топлива применяют в следующих системах:

- система впрыска топлива дизельного двигателя *Common Rail* с максимальным рабочим давлением 160 МПа (1600 бар);
- система непосредственного впрыска топлива бензинового двигателя *MED-Motronic*, где рабочее давление зависит от крутящего момента двигателя и частоты вращения коленчатого вала, составляя 5... 12 МПа (50...120 бар).

### Устройство и принцип действия

Ядро датчика образует стальная мембрана 3 (рис. 6.10), на которую напылены тензорезисторы, соединенные по схеме измерительного мостика Уинстона. Диапазон измерения датчика зависит от толщины – мембрана большей толщины для более высоких давлений, тонкая мембрана – для меньших давлений).

Как только измеряемое давление через канал 4 подвода топлива под давлением действует на одну сторону мембраны, тензорезисторы вследствие прогиба мембраны (например, прогиб может составлять около 20 мкм при 1500 бар) изменяют величину своего сопротивления. Возникшее в схеме выходное напряжение 0...80 мВ подводится через соединительные проводники к усилителю 2 сигнала датчика, где напряжение сигнала увеличивается до 0...5 В и затем подается к блоку управления, который с помощью заложенной в него характеристики датчика рассчитывает величину давления.

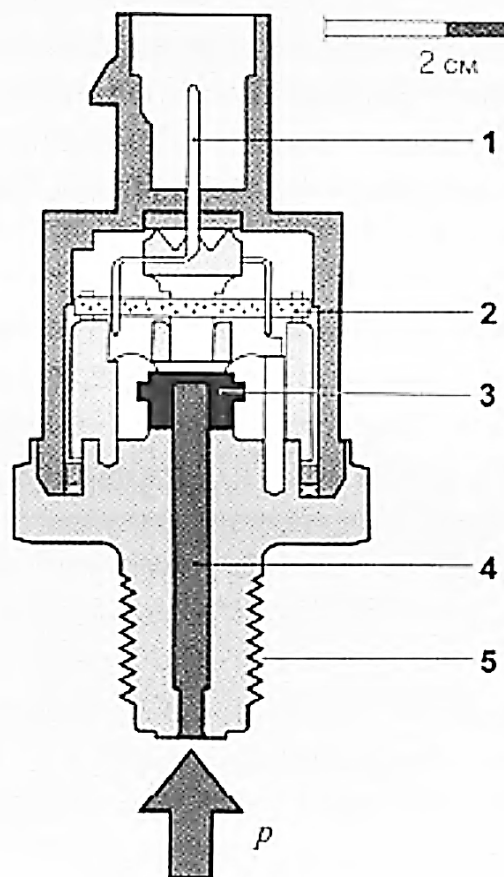


Рис. 6.10. Датчик давления топлива системы *Common Rail*

## Индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала

Датчики частоты вращения коленчатого вала, также называемые датчиками оборотов, применяют для

- измерения частоты вращения коленчатого вала;
- определения положения коленчатого вала (или положения поршня цилиндра двигателя).

Частота вращения рассчитывается по времени периода сигналов датчика. Сигнал датчика частоты вращения – одна из самых важных величин для системы электронного управления работой дизеля.

### Устройство и принцип действия

Датчик смонтирован непосредственно напротив закрепленного на коленчатом валу ферромагнитного импульсного колеса 7 (рис. 6.11) и отделен от него воздушным зазором. Датчик содержит мягкий железный сердечник 4 (полюсный наконечник), который окружен катушкой индуктивности 5. Полюсный наконечник соединен с постоянным магнитом 1. Магнитное поле проходит через полюсный наконечник внутрь импульсного колеса.

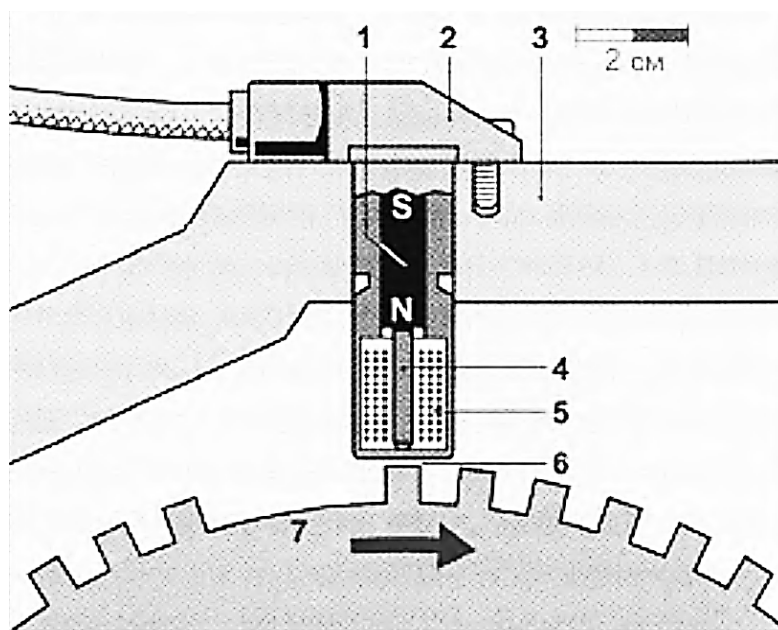
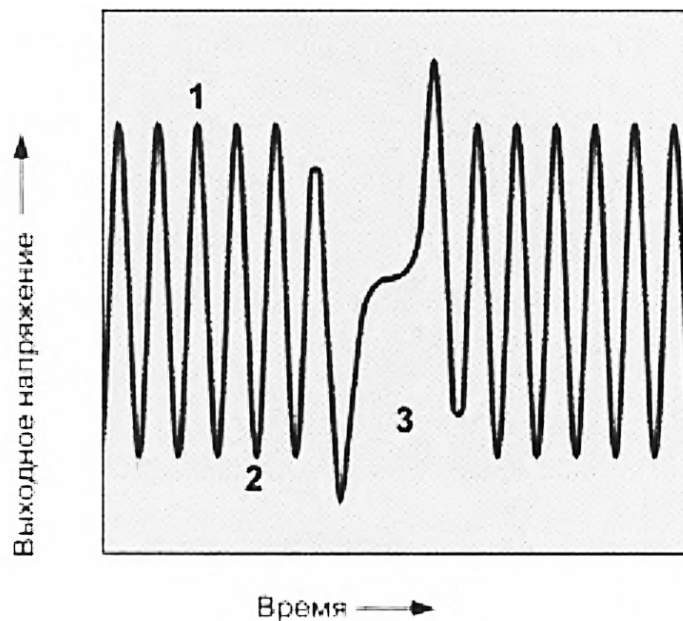


Рис. 6.11. Индуктивный датчик частоты

Интенсивность магнитного потока, проходящего через катушку, зависит от того, что находится напротив датчика: зуб или зазор между зубьями импульсного колеса. Зуб вызывает усиление, а зазор, наоборот, ослабление интенсивности магнитного потока. Эти изменения индуцируют в катушке ЭДС, выражаемую в синусоидальном выходном напряжении (рис.6.12), которое пропорционально частоте вращения коленча-

того вала. Амплитуда переменного напряжения сильно растет с увеличением частоты вращения (от нескольких мВ до 100 В). Достаточная для регистрации датчиком амплитуда возникает, начиная с частоты, равной  $30 \text{ мин}^{-1}$ .



*Рис. 6.12. График изменения выходного сигнала индуктивного датчика частоты вращения*

Количество зубьев импульсного колеса зависит от цели применения. В системах управления работой дизеля с электромагнитными клапанами используются импульсные колеса, имеющие 60 делений, причем число зубьев составляет 58. Большой зазор на месте отсутствующих зубьев представляет собой опорную метку, которая соответствует определенному положению коленчатого вала, и служит для синхронизации блока управления.

Другой вид импульсного колеса имеет по одному зубу на цилиндр. Например, у четырехцилиндрового двигателя это четыре зуба, т. е. за один оборот выдаются четыре импульса.

Геометрические формы зуба и полюсного наконечника должны соответствовать друг другу. Система обработки сигналов преобразует выходное напряжение с импульсами синусоидальной формы, с переменной амплитудой, в напряжение с импульсами прямоугольной формы с постоянной амплитудой. Эти сигналы обрабатываются в микропроцессоре блока управления.

### **Датчик частоты вращения (угла поворота)**

Датчик частоты вращения или инкрементный датчик угла поворота устанавливается на распределительных ТНВД с электромагнитными управляющими клапанами. Его сигналы служат для:

- измерения действительной частоты вращения вала-распределителя ТНВД;
- определения мгновенного углового положения вала-распределителя ТНВД распределительного вала двигателя;
- определения мгновенного положения механизма опережения впрыскивания.

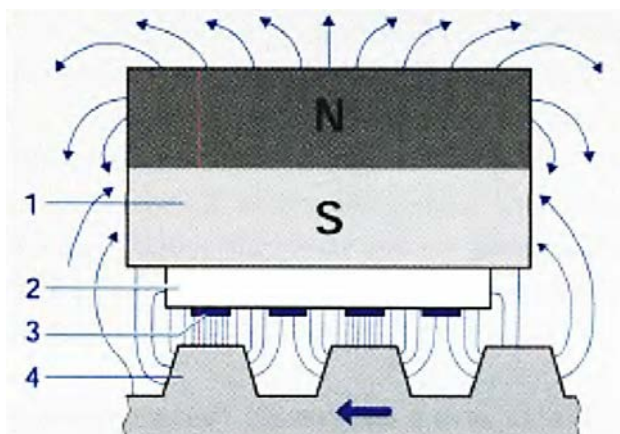
Действительная частота вращения вала-распределителя – одна из входных величин для блока управления распределительным ТНВД. Она определяет вместе с тем длительность управляющего сигнала для электромагнитных клапанов высокого давления и опережения впрыскивания.

Длительность управляющего сигнала для электромагнитного клапана высокого давления необходимо преобразовать в величину цикловой подачи. Мгновенное угловое положение устанавливает момент управления для электромагнитного клапана высокого давления. Точное управление обеспечивает оптимальный момент начала впрыскивания и правильную подачу топлива.

Необходимое для регулирования угла опережения впрыскивания положение определяется сравнением сигналов датчика частоты вращения коленчатого вала (угла поворота).

### Устройство и принцип действия

Датчик частоты вращения (угла поворота) фиксирует положение импульсной шайбы 4 со 120 зубьями рис. 6.13, которая монтируется на приводном валу распределительного ТНВД. Между зубьями имеются равномерно распределенные зазоры (опорные метки), количество которых соответствует числу цилиндров двигателя. В качестве датчика применяют двойной дифференциальный магниторезистивный датчик.



*Рис. 6.13. Принцип действия датчика частоты вращения (угла поворота):  
1 – постоянный магнит, 2 – ферромагнитные пластинки,  
3 – магниторезистор, 4 – зубчатая импульсная шайба*

Магнитные резисторы являются магнитоуправляемыми полупроводниковыми резисторами, выполненными как датчик Холла. Четыре резистора двойного дифференциального датчика соединены в единый измерительный мост.

Датчик имеет постоянным магнит, который с помощью гонких ферромагнитных пластинок усредняет рабочую поверхность зубчатой импульсной шайбы. Четыре магниторезистора датчика расположены на расстоянии половины шага зубьев. Вместе с тем два магниторезистора попеременно находятся напротив зазора между зубьями, а два других – напротив зубьев. Магниторезисторы для автомобильного двигателя выдерживают температуру до 170 °С (кратковременно до 200 °С).

### Фазовые датчики Холла

Распределительный вал связан с коленчатым валом передачей с отношением 1:2. Его положение показывает, совершает ли двигающийся к ВМТ поршень такт сжатия или выпуска. Фазовый датчик на распределительном валу передает эту информацию блоку управления.

### Устройство и принцип действия

Стержневые датчики Холла Стержневые датчики Холла (рис. 6.14а) используют эффект Холла: ротор 7 (импульсный диск с зубьями, секторами или отверстиями) из ферромагнитного материала вращается вместе с распределительным валом. Интегральная схема 6 Холла находится

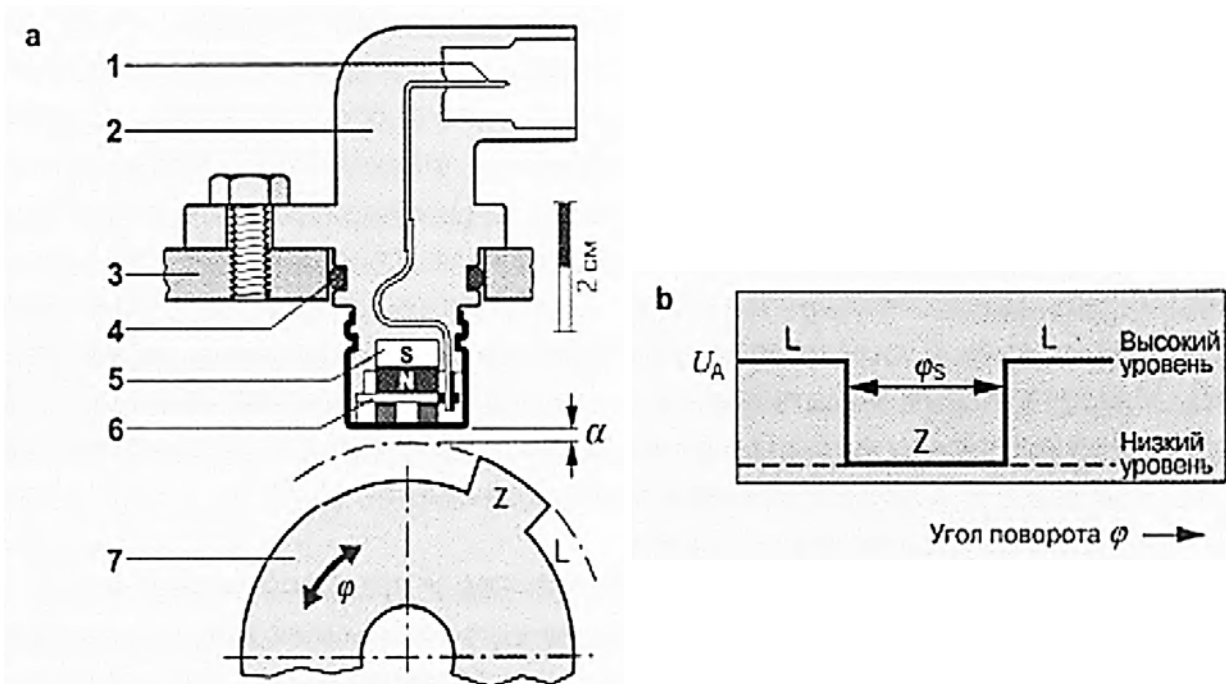


Рис. 6.14. Стержневой датчик Холла

между ротором и постоянным магнитом 5, который создает магнитное поле. При прохождении магнитного поля поперек плоскости элемента Холла, через который проходит электрический ток, на краях элемента возникает ЭДС.

Когда зуб (Z) проходит под элементом датчика Холла, он экранирует магнитное поле. Эффект Холла возникает при прохождении под элементом Холла сегмента (L). Электроны, которые движутся под действием приложенного к элементу продольного напряжения, отклоняются на угол  $\alpha$  (рис. 6.15).

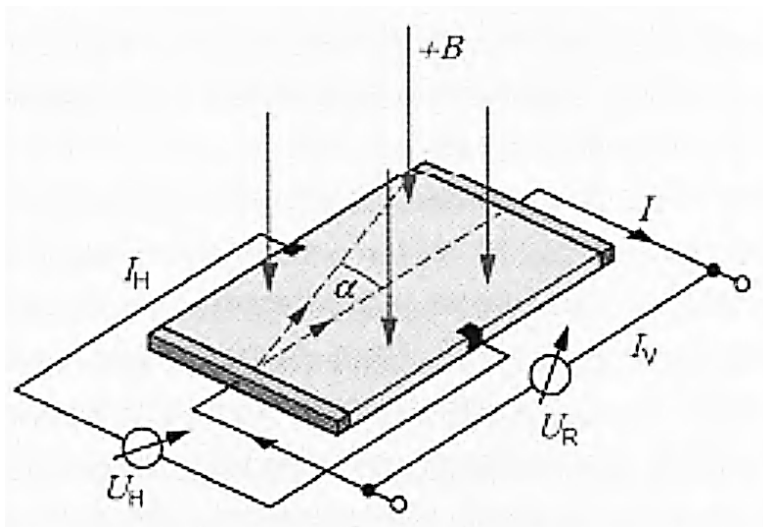


Рис. 6.15. Элемент Холла

Из-за этого возникает сигнал (напряжение Холла) в милливольтном диапазоне, который не зависит от относительной скорости между датчиком и импульсной шайбой. Встроенный в датчик электронный чип генерирует и отправляет сигнал, имеющий на графике прямоугольную форму (рис. 6.14b)

### Дифференциальный стержневой датчик Холла

Стержневые датчики, работающие по дифференциальному принципу, имеют пространственно расположенные радиальные или аксиальные элементы Холла  $S1$  и  $S2$  (рис. 6.16). Они генерируют выходные сигналы низкого и высокого уровней, поступающие от обоих элементов Холла (рис. 6.17).

Для этого необходимы двухдорожечный обтюратор с отверстиями (рис. 6.16a) или двухдорожечная импульсная шайба (рис. 6.16b). Эти датчики применяют при высоких требованиях к точности. Другими их преимуществами являются сравнительно большой диапазон воздушных зазоров и хорошая температурная компенсация.

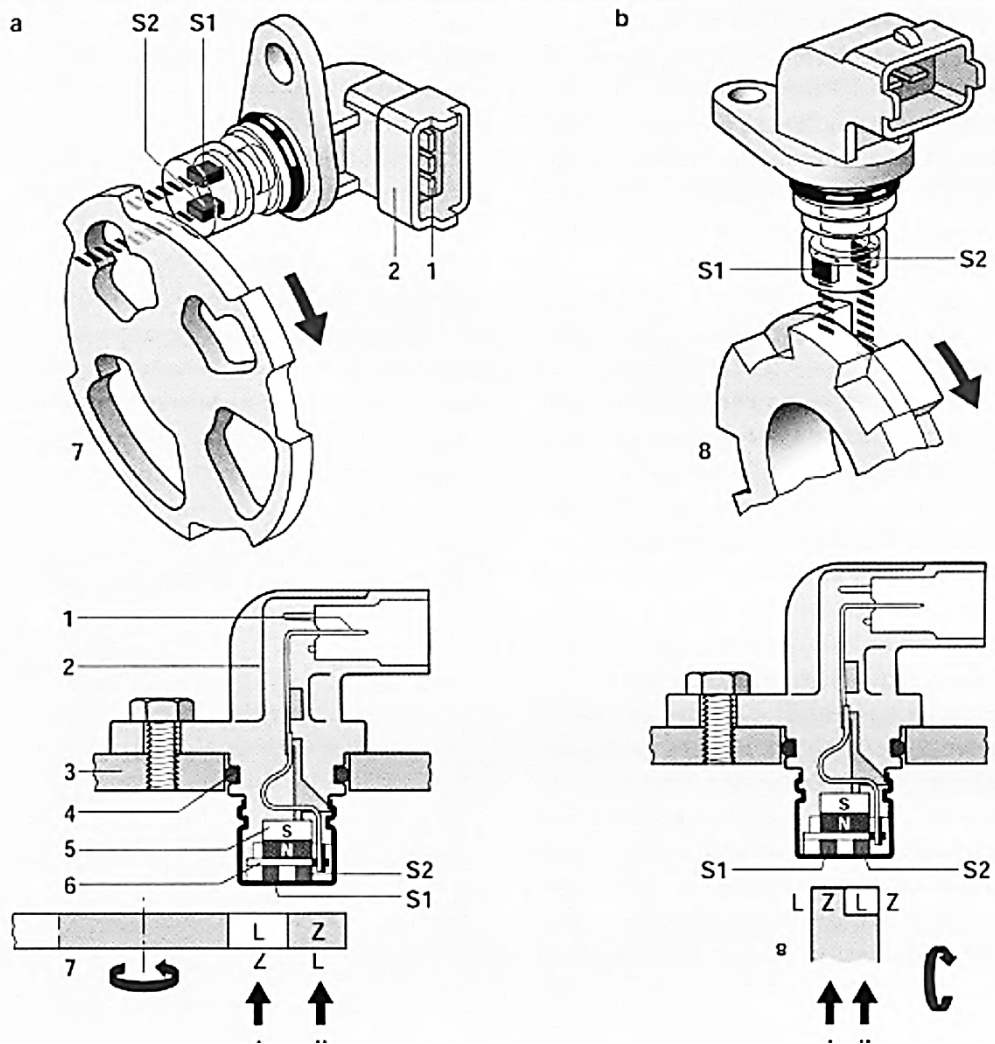


Рис.6.16. Стержневой датчик Холла

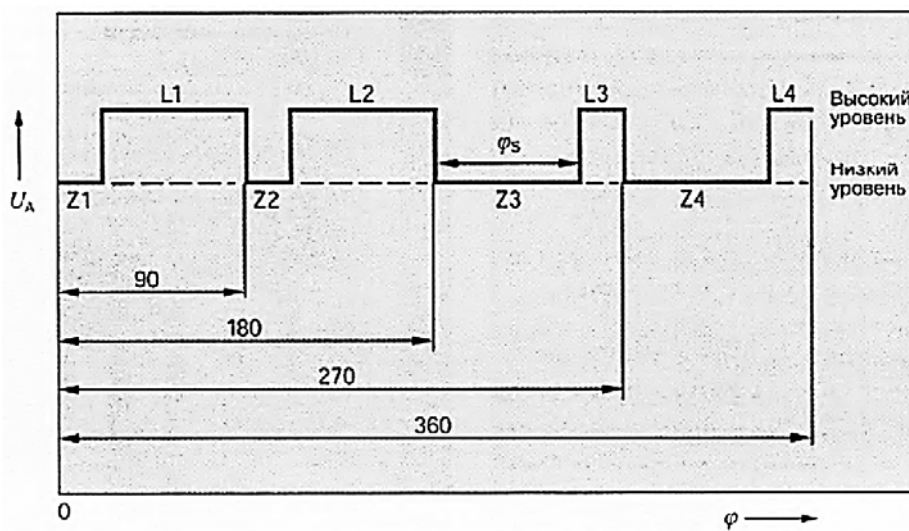


Рис. 6.17. Форма выходного сигнала дифференциального датчика Холла



## Полудифференциальный датчик с короткозамкнутым кольцом

Полудифференциальный датчик с коротко замкнутым кольцом является позиционным датчиком перемещения или угла. Такое весьма точное и надежное устройство применяют как:

- датчик перемещения – для определения величины хода рейки рядных ТНВД;
- датчик угла – в механизме регулирования величины подачи распределительных ТНВД.

### Устройство и принцип действия.

Датчик (рис. 6.18 и 6.19) имеет пластинчатый сердечник из магнитомягкого железа. Измерительная и опорная катушки укреплены на стержне этого сердечника.

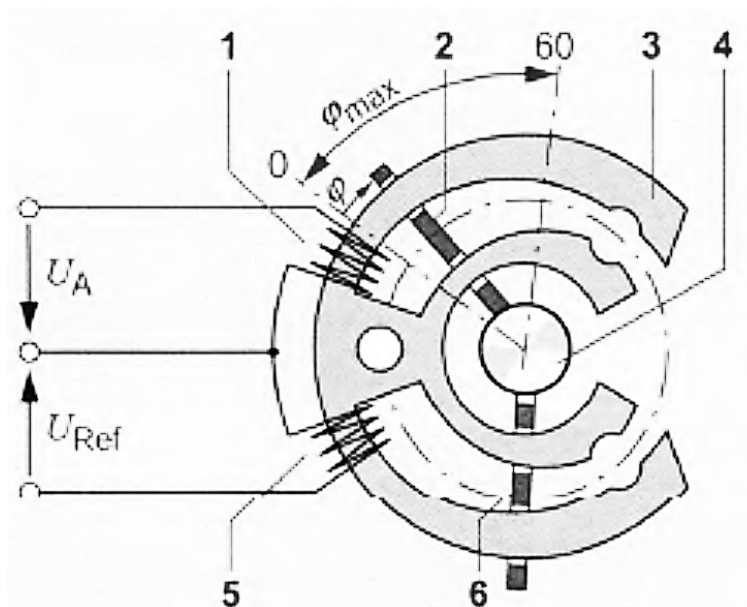


Рис. 6.18. Полудифференциальный датчик для ТНВД распределительного типа

Когда задаваемый блоком управления электрический ток движется по катушкам, в них возникает переменное магнитное поле. Короткозамкнутые медные кольца, окружающие сердечник из мягкого железа, экранируют это поле. Опорные короткозамкнутые кольца фиксированы, в то время как, измерительное кольцо укрепляется на рейке ТНВД или на валу регулятора (соответственно, измеряется ход рейки  $S$  или угол поворота исполнительного механизма  $\varphi$ ).

Со сдвигом измерительного кольца изменяется магнитный поток и соответственно напряжение на катушке, так как блок управления поддерживает ток постоянным.

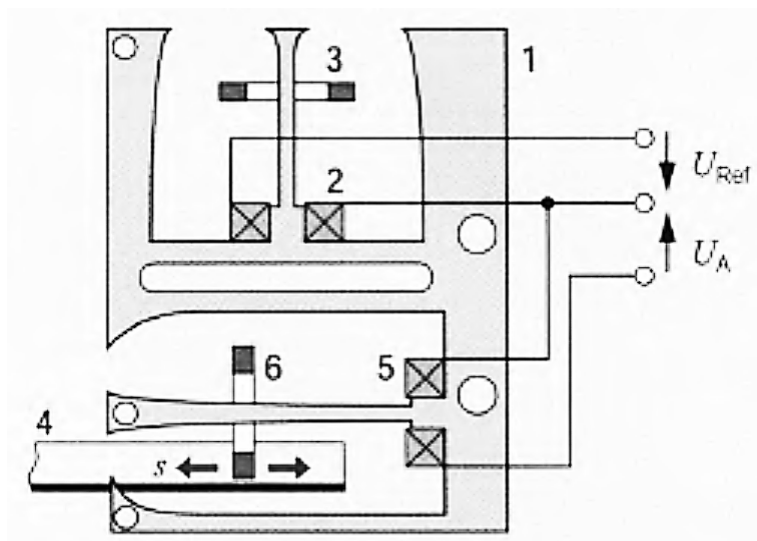


Рис. 6.19. Датчик хода рейки рядного ТНВД

Процессор блока управления определяет отношение выходного напряжения  $U_A$  к опорному  $U_{Ref}$  (рис. 6.20). Это отношение пропорционально смещению измерительного кольца. Подъем этой характеристики определяется деформацией короткозамкнутого опорного кольца, а нулевая точка может быть отрегулирована в исходном положении измерительного кольца.

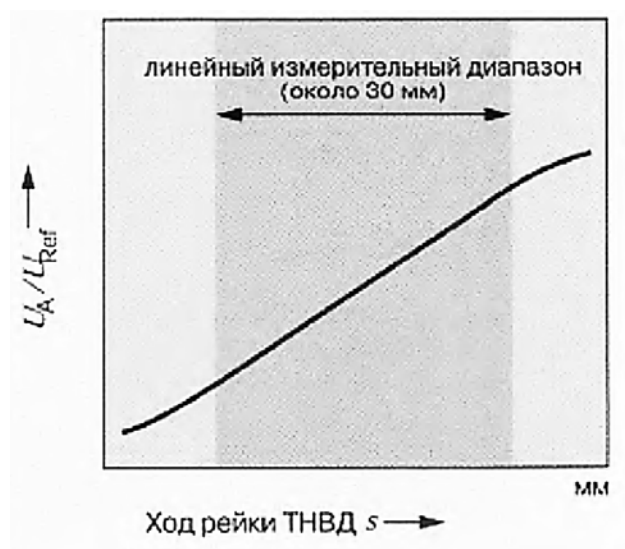


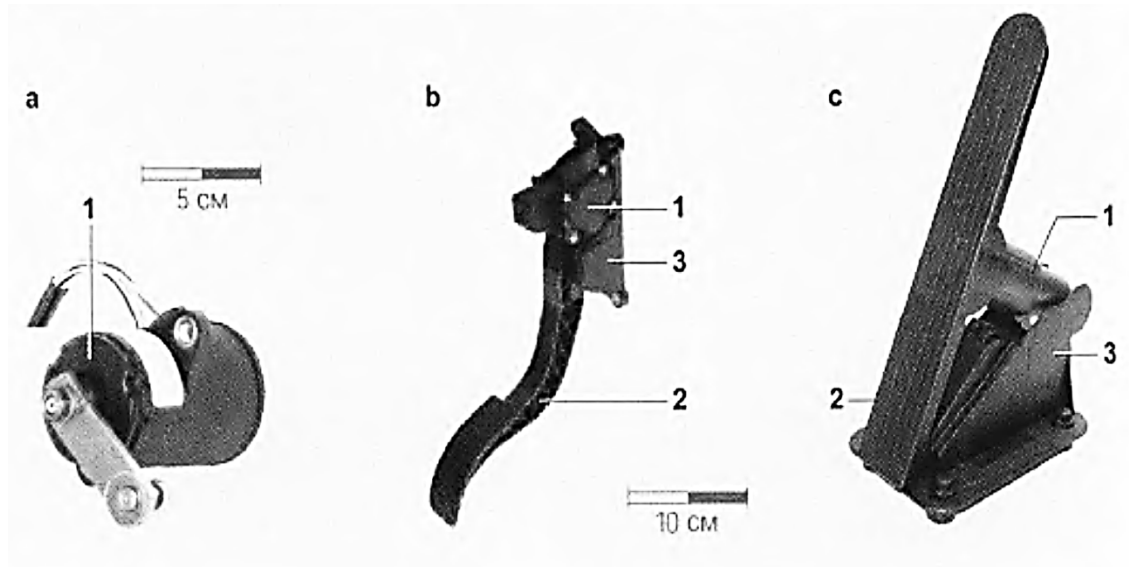
Рис. 6.20. Отношение напряжений в зависимости от хода рейки

### Датчик положения педали газа

При обычном управлении движением автомобиля и, соответственно, работой двигателя, водитель влияет на рабочий режим изменением положения педали газа, которая через механический привод воздействует на положение установочного рычага (подачи топлива) ТНВД дизеля.

В электронных системах управления работой двигателя датчик положения педали газа принимает на себя функцию механической связи. Он регистрирует перемещение педали или изменение угла ее положения и передает соответствующий сигнал в блок управления работой дизеля.

Альтернативой отдельному датчику (рис. 6.21а) является также педальный модуль (рис. 6. 21b и 6.21с) — единое устройство, состоящее из педали газа и датчика ее перемещения. Для таких модулей не требуются работы по юстировке.



*Рис. 6.21. Виды датчиков положения педали акселератора*

### **Устройство и принцип действия**

Существенная составная часть датчика – потенциометр, с которого снимается напряжение, зависящее от положения педали газа. С помощью загруженной в блок управления характеристики датчика это напряжение преобразуется в относительное перемещение или величину угла положения педали.

С целью облегчения диагностики и на случай повреждения основного датчика существует резервный (дублирующий) датчик – составная часть системы контроля. Имеющийся второй потенциометр выдает на всех рабочих режимах половину напряжения первого, чтобы можно было получить два независимых сигнала для выявления возможной неисправности (рис. 6.22).

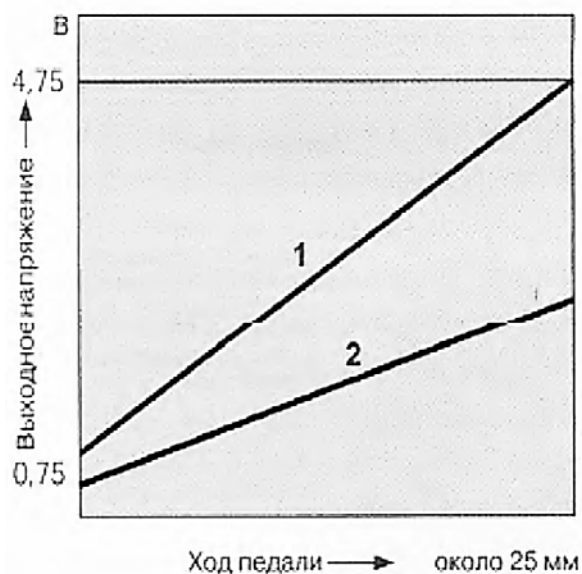


Рис. 6.22. Характеристика датчика положения педали газа с резервным потенциометром

Существует конструкция, где вместо второго потенциометра устанавливается выключатель отпущенной педали, который сигнализирует блоку управления о нахождении педали газа в положении холостого хода. На автомобилях с автоматической коробкой передач еще один выключатель может давать электрический сигнал в режиме включения пониженной передачи при резком нажатии на педаль акселератора (*kick-down*).

### Термоплёночный датчик массового расхода воздуха

Для обеспечения оптимального сгорания топливовоздушной смеси удовлетворяющего действующим стандартам по предельному содержанию вредных составляющих в ОГ, необходимо очень точно контролировать расход воздуха.

Этот контроль способен обеспечить термоплёночный датчик массового расхода воздуха, очень точно измеряющий массу воздуха, фактически поступающую через воздушный фильтр или измерительную трубу. Он учитывает также пульсации и обратные течения, вызванные открытием и закрытием впускных и выпускных клапанов. Изменение температуры подаваемого воздуха не оказывает влияния на точность измерения.

### Устройство

Термопленочный датчик массового расхода воздуха установлен своим корпусом 5 (рис. 6.23) в измерительную трубу 2, которая, в зависимости от необходимого для двигателя массового расхода воздуха (370...970 кг/ч), может иметь различные диаметры. Измерительная труба

устанавливается во впускном тракте за воздушным фильтром. Имеются также сменные датчики, которые устанавливаются в воздушный фильтр.

Главными частями датчика являются измерительный элемент 4, обтекаемый измеряемым потоком 8 части воздуха на впуске, и электронный чип 3.

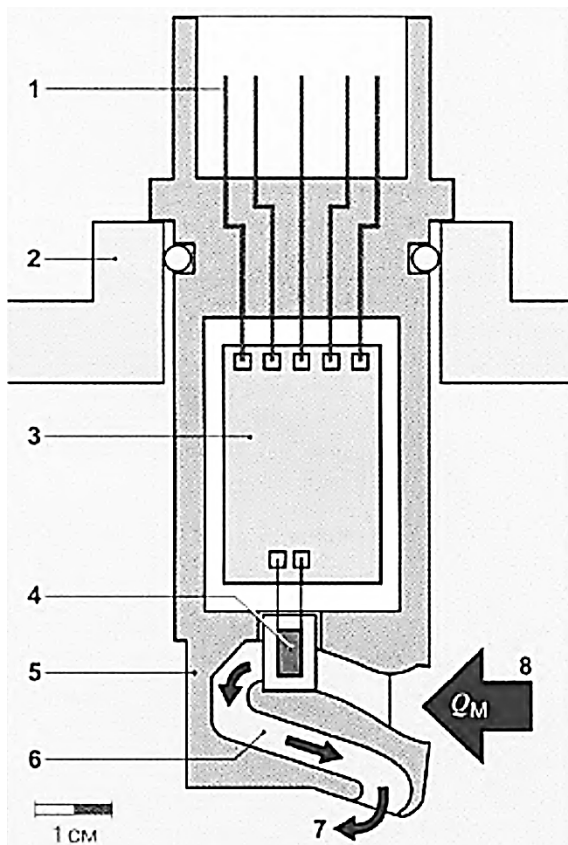


Рис. 6.23. Термопленочный датчик массового расхода воздуха

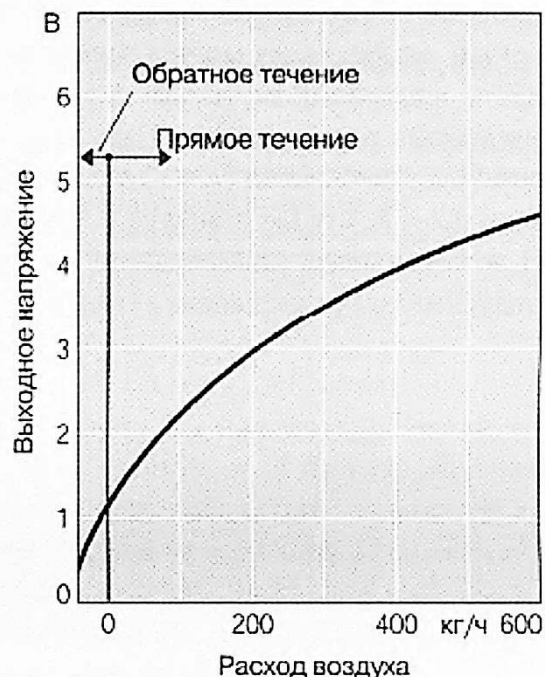


Рис. 6.24. Напряжение на выходе датчика в зависимости от расхода воздуха

Измерительный элемент напылён на полупроводниковую подложку, а электронный чип имеет керамическую подложку. В результате получается весьма компактная конструкция. Электронный чип связан через электрические контакты 1 с блоком управления. Измерительный канал 6 частичного потока сформирован таким образом, что воздух протекает без завихрения по измерительному элементу и возвращается через отверстие 7 выхода измеряемого потока в измерительную трубу. Это способствует улучшению характеристик датчика в сильно пульсирующих потоках, и наряду с прямыми потоками распознаются также обратные течения (рис. 6.24).

### Принцип действия

Термопленочный датчик массового расхода воздуха является «тепловым датчиком» и работает по следующему принципу.

На измерительном элементе 3 датчика (рис. 6.25) расположенный в центре резистор подогревает микромеханическую мембрану 5 датчика и поддерживает постоянной ее температуру. Вне этой регулируемой зоны 4 подогрева температура на обеих ее сторонах снижается.

Два термосопротивления, расположенных на мембране симметрично справа и слева от резистора подогрева (точки измерения  $M_1$  и  $M_2$ ), регистрируют распределение температуры на мембране. Без прохождения потока воздуха профиль температуры 1 на обеих сторонах резистора одинаков ( $T_1 = T_2$ ).

Когда воздух обтекает измерительный элемент датчика, прямо ли-

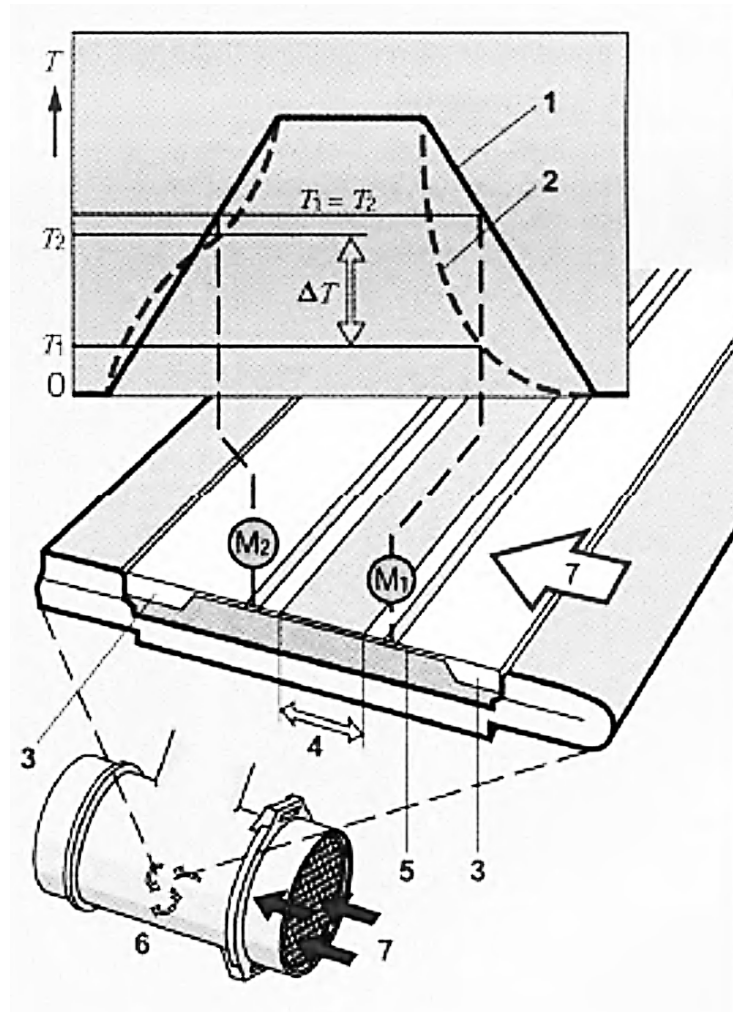


Рис. 6.25. Датчик массового расхода воздуха (принцип измерения):

1 – профиль температуры обтекания воздухом мембраны; 2 – профиль температуры с обтеканием воздухом мембраны; 3 – измерительный элемент датчика; 4 – зона подогрева; 5 – микромеханическая мембрана датчика; 6 – измерительная труба с датчиком массового расхода воздуха; 7 – воздушный поток на впуске,  $\Delta T$  – перепад температуры;  $M_1$ ,  $M_2$  – точки измерения температуры  $T_1$ ,  $T_2$ .

нейность графика (рис. 6.25) температуры на мембране нарушается. На стороне впуска изменение температуры резкое, так как проходящий воздух охлаждает эту область. На противоположной стороне, обращенной к двигателю, измерительный элемент датчика сначала остывает, а затем вновь постепенно нагревается от воздуха, проходящего через зону 4 подогрева мембраны. Изменение распределения температуры ведет к разнице температуры ( $\Delta T$ ) между измерительными точками  $M_1$  и  $M_2$ .

Отданное в воздух тепло и соответствующее изменение температуры измерительного элемента датчика зависят от расхода воздуха. Разница температуры соответствует (независимо от абсолютной температуры проходящего воздуха) величине расхода воздуха; кроме того, она зависит от направления движения потока, так что измеритель расхода воздуха может регистрировать как величину, так и направление потока воздуха.

Благодаря очень тонкой микромеханической мембране датчик реагирует на изменения температуры очень быстро ( $<15$  мс). Это особенно важно для замеров в сильно пульсирующих воздушных потоках.

Разница сопротивления в измерительных точках  $M_1$  и  $M_2$  преобразуется встроенным в датчик электронным чипом в пригодный для блока управления аналоговый сигнал напряжением 0...5 Вольт. С помощью введенной в блок управления характеристики датчика напряжение пересчитывается в величину массового расхода воздуха, измеряемую в кг/ч.

Характеристика датчика создана таким образом, что встроенная схема диагностики способна даже распознавать некоторые неисправности, например, обрывы проводников. В термопленочный датчик массового расхода воздуха для дополнительных измерений может быть встроен датчик температуры. Он находится на измерительном элементе датчика перед зоной подогрева. Для определения расхода воздуха он не требуется.

### **Пленарный широкополосный лямбда-зонд**

С помощью широкополосного лямбда-зонда ( $\lambda$  – зонд) можно в широком диапазоне определять концентрацию кислорода в ОГ, что позволяет делать заключение о составе топливо–воздушной смеси в камере сгорания. Коэффициент  $\lambda$  избытка воздуха оценивает этот состав смеси. Широкополосный лямбда-зонд может точно производить измерения не только в «стехио–метрической» точке при  $\lambda = 1$ , но также в бедной ( $\lambda > 1$ ) и богатой ( $\lambda < 1$ ) областях. В области  $0,7 < \lambda < \infty$  ( $\infty =$  воздух с 21%  $O_2$ ) этот датчик выдает однозначный, непрерывный электрический сигнал (рис. 6.26).

Широкополосный лямбда-зонд применяется не только в системах управления работой дизеля при двухпозиционном регулировании ( $\lambda = 1$ ), но и в системах с бедными и богатыми топливо–воздушными смесями.

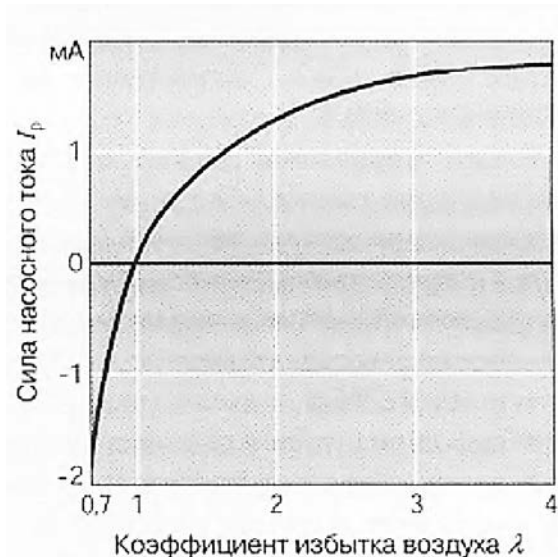


Рис. 6.26. Сила тока датчика от коэффициента избытка воздуха

Такой датчик подходит для регулирования состава смеси для бензиновых, дизельных и газовых двигателей, а также для работы в системе газового отопления (отсюда и название *LSU*, что расшифровывается как «универсальный лямбда-зонд»).

Лямбда-зонд устанавливается в выпускном тракте и потому оценивает поток ОГ всех цилиндров.

Для более точного регулирования в некоторых системах используют несколько зондов, например, перед и после нейтрализатора, а также в отдельных коллекторах системы выпуска ОГ.

### Устройство

Широкополосный лямбда-зонд модели *LSU4* (рис. 6.27) представляет собой двухэлементный зонд граничного тока с пленарной структурой. Его измерительный элемент 1 (рис. 6.27) состоит из кристалла диоксида циркония ( $ZrO_2$ ) 2 (рис. 6.28) и представляет собой комбинацию элемента концентрации Нернста (элемент датчика с функцией двухпозиционного

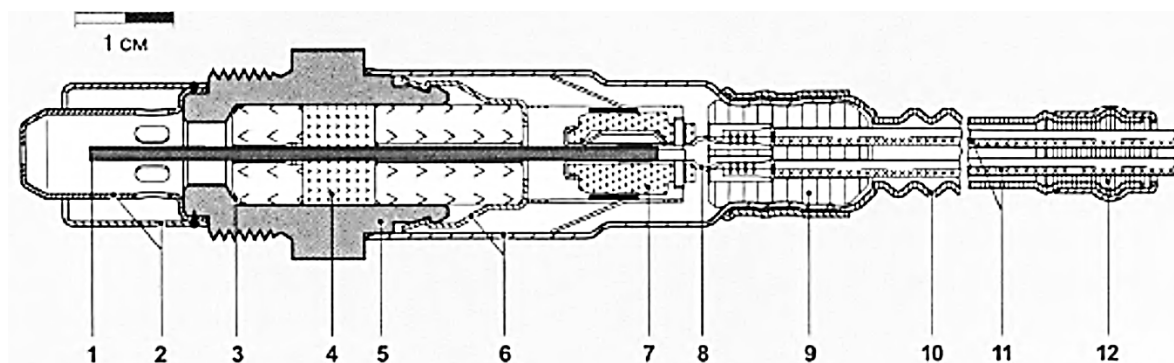


Рис. 6.27. Лямбда зонд



лямбда зонда) и кислородного насосного элемента, который транспортирует ионы кислорода.

Кислородный насосный элемент 8 (рис.6.28) расположен относительно элемента 7 Нернста таким образом, чтобы между ними оставалась диффузионная щель 6 размером около 10...50 мкм. Диффузионная щель соединена с отверстием 10 для доступа ОГ; при этом пористый диффузионный барьер 11 ограничивает проникновение молекул кислорода из ОГ.

Элемент Нернста с одной стороны через опорный элемент 5 связан с каналом опорного воздуха (окружающей среды), с другой стороны он подвергается действию ОГ через диффузионные щели.

Зонд вырабатывает удовлетворительный сигнал только при рабочей температуре не менее 600...800 °С. Чтобы быстрее достичь этой рабочей температуры, зонд снабжен встроенным подогревателем 3.

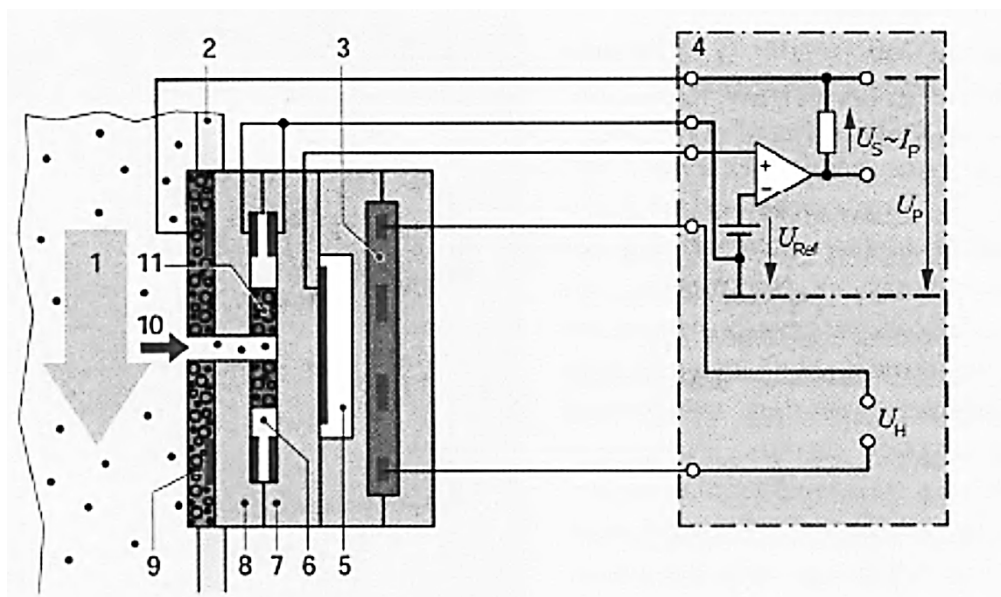


Рис. 6.28. Лямбда зонд (схема)

### Принцип действия

ОГ проникают через маленькое входное газовое отверстие в насосном элементе в собственно измерительное пространство (диффузионную щель) элемента концентрации Нернста. Благодаря этому можно измерить коэффициент избытка воздуха  $\lambda$  в диффузионной щели и сравнить с помощью концентрационного элемента Нернста газ в диффузионной щели с окружающим воздухом из канала опорного воздуха.

Весь процесс протекает следующим образом. При подаче насосного напряжения  $U_p$  на платиновые электроды насосного элемента можно закачивать кислород из ОГ сквозь диффузионный барьер внутрь диффузи-

онной щели или откачивать его. Блок управления регулирует напряжение  $U_p$ , с помощью концентрационного элемента Нернста таким образом, что состав газа в диффузионной щели остается постоянным при  $\lambda = 1$ . При бедных ОГ насосный элемент откачивает кислород наружу (положительное направление насосного тока). При богатых ОГ, напротив, кислород (получаемый каталитическим разложением  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  на электроде ОГ) из окружающих ОГ закачивается в диффузионную щель (отрицательное направление насосного тока). При  $\lambda = 1$  кислород не должен перемещаться, а сила насосного тока равна нулю. Сила насосного тока пропорциональна концентрации кислорода в ОГ и, таким образом, является величиной, соответствующей (нелинейно) коэффициенту избытка воздуха  $\lambda$  (рис. 6.26).

### 6.3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Требования к системе электронного управления работой дизеля.
2. По каким параметрам блок управления рассчитывает величину цикловой подачи?
3. Перечислите основные блоки системы управления.
4. Назовите отличия систем управления *Common Rail* от системы электронного управления работой дизеля для распределительных ТНВД с регулирующей кромкой.
5. Назначения датчиков систем управления двигателям.
6. Устройство и принцип действия датчика температуры.
7. Устройство и принцип действия датчика давления с вакуумной камерой.
8. Для чего датчик давления комплектуется термопарой?
9. Для чего предназначен «тензорезистор» и как он работает?
10. Устройство и работа датчика давления топлива.
11. Устройство и работа датчика частоты вращения коленчатого вала.
12. Устройство и работа датчика угла поворота.
13. Устройство и работа датчиков Холла.
14. Устройство и работа датчика хода рейки ТНВД.
15. Устройство и работа датчика положения педали газа.
16. Устройство и работа датчика массового расхода воздуха.
17. Что понимается под коэффициентом избытка воздуха  $\lambda$ ?
18. Как устроен и работает лямбда зонд?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белявцев, А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: конструктивные особенности и эксплуатация / Белявцев А.В., Процеров А.С. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 223 с.
2. Бурлаев, Ю.В. Устройство, обслуживание и ремонт топливной аппаратуры автомобилей: учебник для средних ПТУ/ Бурлаев Ю.В., Мартиров О.А., Кленников Е.В. – М.: Высшая школа, 1987. – 288 с.
3. Двигатель TDI 2,0 л с системой впрыска *Common Rail*. Устройство и принцип работы: программа самообучения. – Service Training, 2010. – 67 с.
4. Голубков, Л.Н. Топливные насосы высокого давления распределительного типа: учебное пособие / Голубков Л.Н., Савистенко А.А., Эмиль М.В. – М.: Легион-Автодата, 2000. – 176 с.
5. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура: Учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
6. Дудкин, В.И. Пути совершенствования системы питания дизельного двигателя / Дудкин В.И., Янкин Е.М. // Известия Алтайского государственного университета. – 2002. – № 1. – С. 112–115.
7. Иванов, А.С. Система питания дизельного двигателя / А.С. Иванов // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2015. – № 3 (29). – С. 94–99.
8. Исследование тракторных дизелей при работе на дизельных смесевых топливах и разработка экспериментальных топливных систем // Инновационные разработки по агроинженерии: каталог / А.П. Уханов [и др.]. – М.: Росинформагротех. – 2012. – С. 92–95.
9. Крохотин, Ю.М. Системы питания дизелей: допущено УМО по образованию в области лесного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов / Ю.М. Крохотин. – Воронеж, 1999. – 333 с.
10. Макушев, Ю.П. Системы питания дизельных двигателей: учебно-практическое пособие / Макушев, Ю.П., Кавыев А.М. – Омск: СИ-БАДИ, 2007. – 40 с.
11. Неговора, А.В. Специализированное устройство для исследования закона подачи топлива в системах питания дизелей / Неговора А.В., Низамутдинов А.И., Хакимов Р.Т. // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2014. – № 3 (29). – С. 11–13.
12. Неговора, А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: учебно-практическое пособие / А.В. Неговора. – Уфа, 2006. – 150 с.
13. Панычев, А.П. Устройство и принцип работы системы питания дизельного двигателя автомобиля «тойота корса» / А.П. Панычев, А.П.

Пупышев, А.Н. Калимулин, Г.О. Монастырев. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – 11 с.

14. Позин, Б.М. Тяговая характеристика трактора (основы теории и расчет): учебное пособие / Б.М. Позин, И.П. Трояновская. – Челябинск: ЮУрГУ, 2016. – 84 с.

15. Прокофьев, Д.В. Система питания дизеля со встроенной диагностикой / Прокофьев Д.В., Цурихин А.В. // Современная техника и технологии. – 2015. – № 4 (44). – С. 12–15.

16. Салова, Т.Ю. Разработка систем снижения вредных выбросов на неустановившихся режимах работы двигателей внутреннего сгорания / Салова Т.Ю., Усачев Н.А. // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – № 21. – С. 28–31.

17. Свистула, А.Е. Метод гидродинамического расчёта комбинированной системы питания дизельного двигателя / А.Е. Свистула, М.И. Мыслик // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сборник статей Российская Академия транспорта. – Барнаул: АлГТУ, 2010. – С. 67–73.

18. Системы управления дизельными двигателями (перевод с немецкого). – М.: За рулем, 2004. – 480 с.

19. Уханов, А.П. Дизельное смесевое топливо: проблемы и инновационные разработки / Уханов А.П., Уханов Д.А., Адгамов И.Ф. // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – Т. 1. – № 2. – С. 46–51.

20. Файнлейб, Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: справочник / Б.Н. Файнлейб. – Л.: Машиностроение, 1990. – 352 с.

21. Хорош, А.И. Дизельные двигатели транспортных и технологических машин / А.И. Хорош, И.А. Хорош – М.: Лань, 2012. – 704 с.

22. Хохлова, Е.А. Модернизация системы питания дизельного двигателя для работы на дизельном смесевом топливе / Хохлова Е.А., Хохлов А.А. // Молодежь и наука XXI века: материалы аграрного форума «Наука, инновации и международное сотрудничество молодых ученых». – 2014. – С. 208–213.

23. <http://www.zao-bmz.ru> (сайт Белгородского моторного завода).

24. <http://avtodizel.gazgroup.ru/> (Автодизель – сайт Ярославского моторного завода).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. РЕГУЛЯТОРЫ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ.....	5
4.1. Регуляторы частоты вращения для рядных ТНВД .....	7
4.1.1. Управление и регулирование.....	8
4.1.2. Виды регуляторов.....	9
4.1.3. Двухрежимный регулятор .....	10
4.1.4. Регулятор максимальной частоты вращения.....	15
4.1.5. Всережимный регулятор.....	15
4.2. Регулятор частоты вращения коленчатого вала распределительных ТНВД.....	22
4.2.1. Всережимный регулятор.....	22
4.2.2. Двухрежимный регулятор.....	27
4.2.3. Регулятор промежуточных режимов.....	29
4.3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. СИСТЕМА ВПРЫСКА <i>COMMON RAIL</i> .....	31
5.1. Применение система <i>Common Rail</i> .....	32
5.2. Конструкция.....	32
5.3. Принцип действия.....	33
5.3.1. Создание высокого давления.....	33
5.3.2. Впрыскивание.....	34
5.3.3. Управление и регулирование.....	34
5.3.4. Основная функция системы электронного регулирования.....	35
5.3.5. Конфигурация блоков управления.....	35
5.3.6. Системы рециркуляции и очистки ОГ.....	36
5.3.7. Очистка ОГ.....	36
5.4. Агрегаты контура высокого давления.....	40
5.4.1. Топливный насос высокого давления.....	41
5.4.2. Клапан регулирования давления.....	44
5.4.3. Аккумулятор высокого давления (Rail).....	46
5.5. Форсунка .....	47
5.5.1. Конструкция.....	47
5.5.2. Принцип действия.....	49
5.5.3. Форсунка открывается (начало впрыскивания).....	50

5.5.4. Форсунка закрывается (конец впрыскивания).....	51
5.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	52
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. ЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ ДИЗЕЛЯ.....	53
6.1. Системные блоки.....	55
6.2. Датчики.....	59
6.2.1. Датчики температуры.....	59
6.2.2. Микромеханические датчики давления.....	61
6.3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	82
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	83